

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de una pieza de mampostería clase A, utilizando agregados de
plástico triturado**

Trabajo de graduación presentado por Otto Aureliano Monterroso Giron
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala,

2020

Diseño de una pieza de mampostería clase A, utilizando agregados de plástico triturado

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



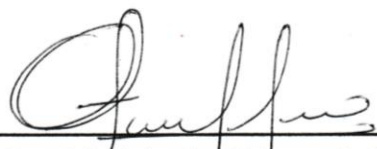
Diseño de una pieza de mampostería clase A, utilizando agregados de plástico triturado

Trabajo de graduación presentado por Otto Aureliano Monterroso Giron
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

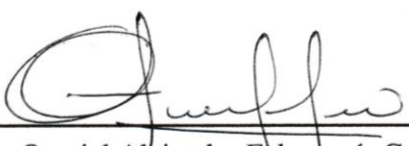
Guatemala,

2020


Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Otoniel Alejandro Echeverría Castellanos

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Otoniel Alejandro Echeverría Castellanos

(f) 
Ing. José Estuardo Palencia Samayoa

(f) 
Ing. Luis Rodrigoandrés Morales Ortega

Fecha de aprobación: Guatemala, 10 de diciembre de 2020.

PREFACIO

Agradezco primero a Dios, por darme la vida, sabiduría y la oportunidad de estudiar una carrera profesional.

Debo de agradecer a mi madre, padre y hermanos que siempre estuvieron presentes apoyándome y animándome a seguir adelante de manera incondicional.

También debo agradecer al Ing.Roberto Godo por guiarme y apoyarme en toda la carrera, además al Ing. Otoniel Echeverría quien me asesoro en mi proyecto de investigación y apoyo a lo largo de la carrera.

Por último, debo de agradecer a todas las personas y compañeros de clase que estuvieron presentes a lo largo de la de mi carrera universitaria, las cuales hicieron de esto una experiencia única, por medio de vivencias y recuerdos que siempre llevaré conmigo a donde vaya.

CONTENIDO

	Página
PREFACIO	IV
LISTA DE CUADROS	VIII
LISTA DE FIGURAS	X
RESUMEN	XI
Abstract	XII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
III. JUSTIFICACIÓN	4
IV. OBJETIVOS	5
A Objetivo general	5
B Objetivos específicos	5
V. Marco teórico	6
A Estado de la mampostería en Guatemala	6
B Comisión Guatemalteca de Normas - COGUANOR:-	6
C ASTM: International	6
D Materiales	7
1 Cemento hidráulico tipo portland	7
2 Agregados	7
3 Agregados finos	7
4 Agregados gruesos	7
5 Agua	8
6 Aditivos químicos	8
E Plástico	8
1 Polímeros termoestables	9
2 Polímeros termoplásticos	9
3 Elastómeros	9
4 Polipropileno (PP)	9
5 Poliétileno (PE)	10
F Mampostería	10
G Bloque hueco de concreto:	11
1 Clasificación y tipo	11

2	Resistencia a la compresión	11
3	Clasificación por absorción	12
4	Clasificación por densidad (Masa unitaria)	12
5	Dimensiones	12
H	Fabricación de los prismas de concreto para mampostería	14
I	Equipo	15
1	Selección y almacenamiento de materia prima	15
2	Dosificación para mezcla	15
3	Mezcla	15
4	Elaboración de piezas de mampostería	16
5	Fraguado	16
6	Curado	16
7	Manejo y almacenaje	16
VI.	Ensayo en materiales	18
A	Agregados	18
1	Agregado fino	18
2	Agregado grueso	18
3	Material plástico - polipropileno (PP)	19
4	Material plástico - polietileno de alta densidad (PE)	20
B	Análisis granulométrico - NTG 41007/ASTM C136	21
1	Análisis granulométrico de agregado grueso	22
2	Granulometría de agregado fino	23
3	Granulometría de material plástico - polipropileno y Polietileno	23
C	Absorción de humedad en agregados	25
1	Discusión de resultados	27
D	Densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de masa de agua en agregados finos y gruesos utilizando los métodos NTG 41010 h8, ASTM C 127 y ASTM C 128	27
1	Discusión de resultados	31
VII.	Elaboración de mezcla de concreto	33
A	Método por módulo de fineza	33
B	Determinación del módulo de finura	33
C	Proporción de los agregados en la mezcla según su módulo de finura (FM)	35
D	Volumen de mezcla deseado	36
VIII.	Fabricación de los bloques de concreto	38
IX.	Determinación de dimensiones, absorción y densidad de bloques huecos de concreto según NTG 41055 h1	43
A	Dimensiones y medidas principales	43
1	Discusión de resultados	44

B	Absorción de humedad	44
1	Discusión de resultados	47
C	Densidad de los bloques	48
1	Discusión de resultados	50
X.	Ensayo de resistencia a la compresión	52
A	Determinación del área bruta y área neta	52
B	Cabeceo de unidades de bloques huecos de concreto para el ensayo de compresión según NTG 41051 h8 y ASTM C1552	53
C	Determinación de la resistencia a la compresión según NTG 41054 y NTG 41051 h2	55
1	Discusión de resultados	56
XI.	CONCLUSIONES	61
XII.	RECOMENDACIONES	62
XIII.	BIBLIOGRAFÍA	63
XIV.	APÉNDICES	65
XV.	Glosario	70

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Tipos de aditivos químicos	8
2	Clasificación de bloques de concreto según norma	12
3	Resistencia mínima a compresión sobre área neta	12
4	Absorción máxima de agua en bloques huecos de concreto	12
5	Clasificación de bloques de concreto por densidad	13
6	Medidas principales reales de los bloques huecos de concreto	13
7	Espesores mínimos de las paredes frontales y de tabiques de los bloques	14
8	Propiedades del polipropileno de alta densidad	20
9	Propiedades del polietileno de alta densidad	21
10	Granulometría de agregado grueso	22
11	Granulometría de agregado fino	23
12	Granulometría de plástico - polipropileno (PP)	24
13	Granulometría de plástico - polietileno (PE)	25
14	Absorción de humedad de agregado fino	26
15	Absorción de humedad de agregado grueso	26
16	Resultados ASTM C 127 para agregado fino	31
17	Resultados ASTM C 128 para agregado grueso	31
18	Módulo de finura de agregado grueso	34
19	Módulo de finura de agregado fino	34
20	Resultados de módulo de finura de cada agregado	35
21	Módulo de finura de agregados y mezcla	36
22	Proporciones de agregados en la mezcla de concreto	36
23	Dosificaciones de mezcla de concreto	37
24	Proporciones de agua y cemento para todos los lotes en función de los agregados	37
25	Resumen de medidas principales de los bloques de concreto	44
26	Resultados de absorción y desviación estándar de bloques de concreto	46
27	Resultados de densidades y desviaciones estándar de bloques de concreto	49
28	Determinación de áreas y volúmenes, tanto brutos como netos	53
29	Resultados de ensayos de resistencia a la compresión de los bloques de concreto	58
30	Desviación estándar de resultados de resistencia a la compresión de los bloques de concreto	58
31	Aumento de resistencia a la compresión en los bloques de concreto según rango de días después de su fabricación	59

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página
1	Espesor de paredes y de tabiques del bloque de concreto 13
2	Esquema de los procesos de fabricación de los bloques de concreto 14
3	Banco de agregado 18
4	Muestra de agregado grueso 19
5	Polipropileno de alta densidad triturado 20
6	Polietileno de alta densidad triturado 20
7	Máquina tamizadora 21
8	Curva granulométrica de agregado grueso 22
9	Curva granulométrica de agregado fino 23
10	Granulometría de polipropileno de alta densidad (PP) 24
11	Granulometría de polietileno de alta densidad (PE) 25
12	Horno industrial de secado de suelos 27
13	Agregados sobre superficie impermeable en estado seco saturado 28
14	Cilindro metálica en forma de cono 28
15	Muestra seca saturada después de compactación en cono metálico 29
16	Probeta con muestra de agregados en agua 29
17	Banco de materiales en zona de materiales de agregado grueso 38
18	Mezcladora 39
19	Banda transportadora 39
20	Proceso de vibro compactación de los bloques de concreto 40
21	Extrusión de los bloques de concreto 40
22	Bloques apilados en su etapa de fraguado 41
23	Toma de medidas principales de los bloques de concreto 43
24	Determinación de la masa suspendida sumergida (M1) 45
25	Horno industrial ventilado 45
26	Gráfica de resultados de absorción de bloques de concreto 46
27	Gráfica de resultados de absorción de bloques de concreto 47
28	Gráfica de resultados de densidades de bloques de concreto 49
29	Gráfica de resultados de densidades de bloques de concreto 50
30	Cabeceo de muestra de bloque de concreto 54
31	Colocación del bloque de concreto en la máquina de ensayo 55
32	Gráfica de resultados de resistencia a la compresión de 7, 14, 21 y 28 días después de su fabricación 59
33	Resultados de resistencia a la compresión a 28 días de su fabricación 60
34	Verificación de humedad en mezcla de concreto dentro de mezcladora en el proceso de fabricación de los bloques de concreto 65
35	Transporte de muestras de bloques de concreto después de proceso de fabricación 65
36	Cabeceo de las muestra de concreto antes de ensayo de resistencia a la compresión 66

37	Falla por separación de pared externa de unidad según NTG 41051 h2	66
38	Falla por fractura cónica según NTG 41051 h2	67
39	Distribución de las partículas de plástico de polietileno (PE) en la mezcla de concreto	67
40	Distribución de las partículas de plástico de polipropileno (PP) en la mezcla de concreto	68
41	Densidades y porcentajes de humedad unitarios	68
42	Resistencia a la compresión unitarios de los bloques de concreto a 7, 14, 21 y 2 días	69

RESUMEN

El proyecto de investigación *Diseño de una pieza de mampostería clase A, con agregados de plásticos triturados* busca realizar un bloque hueco de concreto que contenga una dosificación de agregado plástico triturado en su mezcla de concreto, además que cumpla con las especificaciones de la norma COGUANOR NTG 41054 para ser clasificado como un bloque de concreto estructural clase A. El bloque hueco de concreto tiene como fin, brindar una alternativa que se apegué a un modelo de economía circular por medio del beneficio de reutilización y reciclaje de partículas de residuo de plástico.

Los agregados finos y gruesos utilizados fueron sometidos a ensayos para determinar las características de las partículas de suelo que se estarían utilizando en la mezcla de concreto. El plástico triturado es de origen reciclado, por lo que se determinara el comportamiento de las partículas de polipropileno de alta densidad y del polietileno de alta densidad en los bloques huecos de concreto.

El diseño de la mezcla de concreto para la elaboración de los bloques de concreto se realizará con el método de módulo de fineza. Este es un método aproximado para la resistencia a los 28 días después de fabricación. La elaboración de concreto para piezas de mampostería se realiza por medio del índice de módulo de fineza de los agregados que describe el tamaño de las partículas del agregado a utilizar.

Se elaboraron varios lotes de piezas de mampostería con distintas dosificaciones de agregado de plásticos triturados, los cuales contienen una serie de dosificaciones establecidas de agregado de plásticos en la mezcla hasta el punto en el cual se alcanzó el reemplazo total de los agregados finos en los bloques huecos de concreto.

Todos los bloques de concreto fueron sometidos a los ensayos indicados por la NTG 41054, por lo que se determinó el porcentaje de humedad, de las medidas principales, densidad y resistencia a la compresión, 28 días después de su fecha de fabricación. Los ensayos realizados indicaron el comportamiento de las partículas de plástico en los bloques huecos de concreto, por lo que se estudian las ventajas y desventajas de la utilización de las diferentes dosificaciones de plástico triturado dentro del diseño de una pieza de mampostería.

Abstract

The research project *Design of a class A masonry piece, with crushed plastic aggregates* seeks to make a hollow concrete block that contains a dosage of crushed plastic aggregate in its concrete mix, in addition to meeting the specifications of the standard COGUANOR NTG 41054 to be classified as a class A structural concrete block. The hollow concrete block is intended to provide an alternative that adhered to a circular economy model through the benefit of reuse and recycling of plastic waste particles.

The fine and coarse aggregates used were subjected to tests to determine the characteristics of the soil particles that would be used in the concrete mix. The crushed plastic is of recycled origin, which will determine the behavior of the high-density polypropylene and high-density polyethylene particles in the hollow concrete blocks.

The design of the concrete mix for the elaboration of the concrete blocks will be carried out with the fineness modulus method. This is an approximate method for resistance at 28 days after manufacture. The elaboration of concrete for masonry pieces is carried out by means of the fineness modulus index of the aggregates that describes the size of the aggregate particles to be used.

Several batches of masonry pieces were made with different dosages of crushed plastic aggregate, which contain a series of established dosages of plastic aggregate in the mix up to the point at which the total replacement of the fine aggregates was reached in the hollow concrete blocks.

All the concrete blocks were subjected to the tests indicated by the NTG 41054, for which the percentage of humidity, main measurements, density and compressive strength were determined 28 days after their manufacturing date. The tests carried out indicated the behavior of the plastic particles in the hollow concrete blocks, for which the advantages and disadvantages of the use of different dosages of crushed plastic within the design of a piece of masonry are studied.

I. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, la utilización de las piezas de mampostería es parte de un sistema constructivo que contribuye al desarrollo urbano y rural por medio de estructuras de pequeñas y gran escala. Sin embargo, debido al constante desarrollo de las comunidades, el desecho plástico es uno de los contaminantes más grandes con los que el país se enfrenta en la actualidad. Los desechos sólidos plásticos contaminan el ambiente por años, antes de pasar por un proceso de degradación.

La preocupación de la contaminación debido a la mala gestión de los desechos sólidos crece. La necesidad sobre la mitigación del impacto debido a los desechos sólidos plásticos debe de surgir con innovaciones que satisfagan las necesidades que provoca la contaminación por plásticos.

En la actualidad los problemas ambientales son una preocupación creciente en la industria de la construcción. Por lo que algunos de los objetivos de tales esfuerzos es proporcionar orientación a los diseñadores, contratistas y fabricantes la sensibilidad ambiental de su trabajo por medio de arquitectura sostenible y ecología en la construcción.(Beall, 1994)

El plástico es el material que más daño ha producido en los años recientes en los ríos. Este material tarda alrededor de 150 años en degradarse, en el caso de una bolsa plástica, mientras que las botellas de plástico PET unos 450 años. Se calcula actualmente, solo se recupera un 5 por ciento de plástico para reciclaje en Guatemala. Por lo cual, para combatir este problema, se requiere de medidas de reutilización y reciclaje de los desechos plásticos para que sean parte de una economía circular. La reutilización del plástico de manera triturada es una estrategia de reducir el impacto provocado por la contaminación. (Alfonso Alonzo Vargas *et al.*,s.f.)

Con la mampostería se puede realizar una mitigación de a los desechos plásticos por medio de la reutilización de materiales plásticos desechados. Un diseño de una pieza de mampostería, tipo block convencional, que no cambie las propiedades mecánicas del elemento, ni su metodología de construcción dentro del mercado.

Los bloques huecos de concreto con agregados de plástico triturado, son piezas de mampostería que tendrán que pasar por una serie iterativa, en la cual se propongan varios prototipos para ensayo que contendrán diferentes dosificaciones de plástico triturado dentro de su mezcla de concreto. Los ensayos estarán regidos por la metodología indicada NTG 41054, la cual especifica los métodos de ensayo para la resistencia a la compresión a los 28 días, toma de medidas principales, densidad y absorción de humedad máxima que se deben de cumplir para que los bloques huecos de concreto con agregado de plástico triturado puedan ser clasificados como categoría clase A.

El bloque de concreto con agregados de plástico triturado reciclado, utiliza materiales que son producto de la contaminación que existe dentro del territorio de Guatemala. Los materiales plásticos que son utilizados dentro de la mezcla de concreto son aprovechados a través de sus propiedades mecánicas, térmicas y físicas que aportan características que agregan un valor agregado a la pieza de mampostería. La aprobación del agregado de plástico triturado propuesto tendrá que cumplir la norma COGUANOR NTG 41063, la cual nos presenta los parámetros que deben de cumplir los agregados livianos en el concreto.

Los agregados plásticos serán de diferentes orígenes, los cuales serán utilizados en diferentes mezclas de concreto que contendrán solo un tipo de plástico a diferentes dosificaciones. Se hará un proceso de pre-limpieza para evitar impurezas de cualquier tamaño antes de comenzar con el

proceso de dosificación de plástico en la mezcla del concreto.

El proceso de trituración se estandarizará para todos los tipos de plásticos, se llegará a un tamaño deseado para su uso en procesos posteriores. El proceso de saneamiento se aplicará hasta el punto en el cual no se encuentre ningún agente externo. Los materiales inorgánicos no deberán estar presentes dentro de los agregados plásticos, de no ser así puede llegar a modificar las características del bloque hueco de concreto.

El diseño del bloque hueco de concreto con agregado de plástico triturado, se harán en diferentes cantidades de dosificaciones en la mezcla hasta alcanzar el reemplazo total del agregado fino propuesto en la mezcla de concreto. Se espera que los bloques de concreto alcancen una clasificación que cumpla con las características de un bloque hueco de concreto clase “A”, según COGUANOR NTG 41054. Las pruebas en los bloques de concreto serán realizadas bajo las mismas condiciones y se realizarán dentro del mismo rango de días después de fabricación; esto para determinar las características de cada muestra de los bloques huecos de concreto que se tendrán.

Una pieza de mampostería con contenido de plástico triturado reciclado es necesario para empezar a mitigar la contaminación por al plástico. Con el uso de material de desechos sólidos reciclados dentro de la mezcla de concreto para las piezas de mampostería se tendrá un producto que sea parte de una economía circular. Además, por su livianeza y propiedades mecánicas, las partículas de plástico aportaran a los bloques huecos de concreto características que añadan un valor agregado al producto final, que lo hará más atractivo al mercado de la construcción.

II. ANTECEDENTES

En Guatemala, la mampostería aporta al desarrollo urbano por medio de los sistemas de mampostería para la construcción de viviendas. Desde el siglo XX, su uso de las viviendas guatemaltecas estaba comprendido de muros de adobe y ladrillo. Sin embargo, la falta de acero de refuerzo y propiedades mecánicas en las piezas de mampostería hizo que las estructuras realizadas antes que existiera alguna normativa, estuvieran en riesgo de colapso ante algún movimiento sísmico.

La actividad sísmica más grande recientemente en Guatemala fue la del año 1976. Durante este evento sísmico muchas estructuras de pequeña, mediana y gran magnitud fueron afectadas, por lo que la preocupación sobre los sistemas constructivos se cuestionó debido a los daños causados por dicho evento. Luego de una revisión de las estructuras, se realizó una mejora en las construcciones, por medio de una implementación de normas y códigos de diseño en estructuras con piezas de mampostería con el propósito de proteger las estructuras ante un evento sísmico y sobre todo proteger la vida humana.

Por otro lado, la cantidad de reciclaje proveniente de los desechos sólidos plásticos en el territorio guatemalteco es crucial para hacer frente a los volúmenes de residuos de plástico que llegan a los basureros, lagos, ríos y bosques que forman parte de nuestras reservas naturales. Por lo que proteger estas áreas verdes por medio de una economía circular, es de gran importancia para una solución ecológica a la mala gestión de los residuos plásticos.

III. JUSTIFICACIÓN

Los bloques huecos de concreto en Guatemala son de gran importancia debido a su uso en los sistemas de mampostería utilizados en la construcción. Este sistema se utiliza en una mayoría de las construcciones residenciales y edificaciones con gran demanda estructural.

Los desechos residuales plásticos dentro del territorio de Guatemala poseen un impacto significativo a la contaminación de las áreas urbanas y rurales. A pesar de que existen programas de reciclaje para mitigar el daño por contaminación de desechos plásticos, estos no son suficientes, por lo que la reutilización de estos residuos puede aportar a mitigar la contaminación provocada.

La reutilización de estos plásticos, de manera triturada, no solo podría disminuir la contaminación dentro del territorio de Guatemala, también puede incentivar a los consumidores a tener conciencia en el medio ambiente; esto se realizaría de manera indirecta debido a que la metodología de construcción y las propiedades mecánicas de los bloques de concreto para la mampostería no cambiaría, inculcando conciencia en el medio ambiente por medio de un producto eco amigable en el consumidor final.

Por último, se determinará los beneficios de la utilización del plástico triturado dentro de la mezcla de concreto, debido a que este tendría las mismas cualidades físicas de un bloque convencional. Esto por medio de ensayos en los bloques huecos de concreto con agregados de plástico triturado que determinen las características mecánicas de los bloques, debido a que la metodología de construcción de los bloques se mantendrá de la misma manera en que lo haría un bloque hueco de concreto convencional.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollar una pieza de mampostería con agregados de plásticos triturados que se adapte a la metodología de construcción actual. Manteniendo la forma física y satisfacer las propiedades mecánicas de un bloque de concreto convencional.

B. Objetivos específicos

- Generar una pieza de mampostería con agregados de plástico triturado que se adapte a las necesidades actuales del mercado, que actualmente se utilizan en la construcción con mampostería de pequeña y gran escala.
- Incluir agregados a reutilizar dentro del bloque de concreto, con el fin de mitigar los desechos de residuos plásticos que forman parte de la contaminación dentro del territorio de Guatemala.
- Desarrollar un pieza de bloque de mampostería que presente una menor peso unitario, es decir una menor densidad y absorción a la humedad, manteniendo sus propiedades mecánicas.

V. Marco teórico

A. Estado de la mampostería en Guatemala

En Guatemala, la mampostería es uno de los sistemas constructivos más utilizados para la elaboración de viviendas de construcción menor. La mampostería sufrió muchos cambios en sus metodologías constructivas. Durante la primera mitad del siglo XX predominó la construcción con materiales de ladrillos y adobe, los cuales no utilizaba ningún tipo de refuerzo. Sin embargo, debido a la actividad sísmica en el territorio nacional, se han desarrollado nuevas técnicas de construcción para mejorar la capacidad del sistema estructural.

Durante la segunda parte del siglo XX, se sufrió un fuerte evento sísmico que destruyó muchas viviendas de mampostería, esto ocurrió en el año 1976. Las viviendas que sufrieron la mayor parte de los daños debido al movimiento sísmico fueron aquellas construcciones de adobe, las cuales en su mayoría se encontraban en las partes más viejas de la ciudad.

Luego del comportamiento observado de las viviendas, debido a los estudios realizados por AGIES, se implementó el uso de diferentes formas y tipos de bloques de concreto dentro de la construcción. Estos bloques se empezaron a utilizar en conjunto con acero, con el fin de proporcionar refuerzo al sistema. Este nuevo sistema de paredes delgadas sería el sistema que resistiría las cargas verticales, empujes horizontales en su propio plano y fuerzas de empuje perpendiculares al mismo.

Los cambios realizados en el sistema utilizado anteriormente traerían muchos beneficios, sin embargo, la mampostería reforzada presenta muchas variables dentro de los mampuestos debido a la metodología de construcción, forma, tipo y rango de resistencias de los elementos. Por lo que la implementación de uso de normas de construcción y códigos de diseño para estructuras de mampostería reforzada en zonas sísmicas son vitales para determinar la capacidad de las estructuras y proteger la vida humana.

B. Comisión Guatemalteca de Normas - COGUANOR:-

Esta entidad, más conocida como "COGUANOR", es una organización independiente que es reconocida nacional e internacionalmente por especializarse en la gestión de la normalización de técnicas y actividades que se relacionan entre sí. El objetivo de esta organización es apoyar a todos los involucrados en respuesta a las necesidades y retos del país, a través de la constante mejora de la competitividad y calidad de los servicios de los sectores involucrados.

C. ASTM: International

La organización fundada en 1898, conocida anteriormente como American Society for Testing and Materials, es conocida internacionalmente por proveer estándares técnicos de calidad que se desarrollan y publican. ASTM International no exige la ejecución de las normas y estándares desarrollados, sin embargo se suele hacer referencia dentro de cualquier empresa o corporación para la gama de materiales, productos y servicios.

D. Materiales

Para la realización de los elementos estructurales, como lo son las piezas de mampostería (bloques huecos de concreto), los materiales que lo componen forman el conglomerado el cual aprovecha cada uno de las propiedades de cada de los elementos utilizados para hacer una pieza eficiente dentro de un sistema de construcción aplicable a diferentes campos de la ingeniería.

La utilización de cada uno de los materiales de los cuales se compone una pieza de bloque hueco de concreto contribuye de manera conjunta a las características mecánicas del elemento estructural. La debida proporción de cada material nos podrá ayudar a diseñar un bloque de concreto hueco óptimo que pueda brindar las características mecánicas y físicas deseadas para su debido comportamiento dentro de su aplicación.

Los materiales que componen a una pieza estructural de mampostería suelen ser materiales como: Cemento hidráulico, agregados (finos y gruesos) y agua. Sin embargo, para fines de este trabajo, se incorporará un nuevo elemento: plástico. Este elemento estará dentro del diseño de la pieza y tendrá como fin aportar, en conjunto con los demás materiales, sus propiedades para obtener un conglomerado con los parámetros deseados.

1. Cemento hidráulico tipo portland. El cemento hidráulico es un producto derivado del clinker, este material es pulverizado para su elaboración. Se usan conglomerados hidráulicos que cuando son mezclados con agua, llegan a formar pastas que pueden fraguar y endurecer generando productos hidratados. Estos pueden llegar a estar clasificados según su resistencia a la compresión teórica, sus componentes mecánicos y características especiales.

Este conglomerante hidráulico es vital dentro de la utilización de la incorporación de todos los elementos que componen la mezcla de los bloques de concreto. Sus propiedades de adherencia, resistencia y durabilidad hacen que el producto final sea de calidad y de gran potencial estructural.

2. Agregados. Los agregados son materiales que conforman la mayor parte de la contribución de las características mecánicas de los bloques huecos de concreto, pueden llegar a formar parte de hasta el 90 % de la masa total del elemento.

La importancia de los agregados, tanto finos como gruesos, son de gran relevancia debido a la influencia que tiene en la mezcla del concreto. Los agregados pueden llegar a reducir el uso de la pasta de cemento, reduciendo los cambios volumétricos debido al proceso de fraguado y secado de la mezcla y por último aportando resistencia al producto final.

3. Agregados finos. Los agregados que son clasificados como agregados finos, son todas aquellas arenas que sean de procedencia natural, manufacturada o una combinación de ambas. Estos deben de cumplir con una serie de requisitos establecidos por la norma NTG-41007. En esta especificación se indican los parámetros del análisis granulométrico la cual debe de cumplir la misma. Los agregados finos forman parte del comportamiento de los asentamientos diferenciales que puede llegar a generar la mezcla, además su trabajabilidad puede llegar a ser afectada con respecto a su proporción a los demás materiales.

4. Agregados gruesos. Los agregados gruesos son todas aquellas piedras trituradas, gravas trituradas, escoria, concreto triturados o una combinación de estas, que cumplan con un tamaño granulométrico que pueda incorporarse a la mezcla y diseño del concreto. Debido a que la norma

NTG-41007 no establece cuales son los rangos establecidos por los cuales debe de pasar las partículas de agregado grueso, estos deben de ser consisten en su tamaño y deben de ser una combinación de dos diferentes. Los agregados gruesos pueden llegar a afectar la textura y forma de la mezcla en proporción de los demás materiales y tamaño de grano. Por último, la relación de adherencia de la pasta de cemento puede llegar a ser afectada por la redondez de la partícula del agregado grueso.

5. Agua. El estado del agua a utilizar en la mezcla de concreto es esencial para no modificar las propiedades de la mezcla, esta podrá ser cualquier tipo de agua potable. La utilización de agua que deberá de no contener sustancias orgánicas, residuos de cualquier tipo, alta turbiedad u olores fuertes podrá ser utilizada.

Al utilizar aguas de mala calidad se puede afectar la resistencia, tiempo de fraguado e incluso la durabilidad. Además, se debe de evitar tener aguas que contengan altos niveles de cloruros, ya que estos tienen un efecto corrosivo sobre el acero de refuerzo del concreto, afectando la resistencia. El agua de mar podrá ser utilizada, una vez esta cumpla con los niveles mínimos en su contenido de cloruros, respectivamente de la norma que se utilice.

6. Aditivos químicos. Los aditivos químicos utilizados en el concreto son una serie de productos que buscan alterar las propiedades físicas de la mezcla según las propiedades y características que se busquen. Por lo general para su dosificación se deben de seguir las recomendaciones y guías del fabricante. Estos suelen ser incorporados al concreto previamente en el agua a utilizar dentro de la mezcla.

Dentro de la norma (COGUANOR-41070, 2020), se especifica que los materiales para ser utilizados como aditivos químicos, para ser agregados a mezclas de concreto de cemento hidráulico en obra, deberán de ser para alguno de los propósitos indicados por los ocho tipos siguientes:

Cuadro 1
Tipos de aditivos químicos

Tipo	Propósito
A	Aditivos reductores de agua
B	Aditivos retardadores
C	Aditivo acelerante
D	Aditivos reductor de agua y retardador
E	Aditivo reductor de agua y acelerante
F	Aditivo reductor de agua, de alto rango
G	Aditivo reductor de agua, de alto rango y retardador
S	Aditivo de desempeño específico

Fuente: (COGUANOR-41070, 2020)

E. Plástico

Los plásticos ocupan un lugar destacado en el desarrollo del territorio guatemalteco, participando en sectores como: envases, embalajes, las telecomunicaciones, el transporte y la construcción. En general, forman parte de nuestra vida diaria. El plástico es un material formado por polímeros, los cuales son moléculas de gran tamaño, estas tienen contenidos mayormente de carbono además de otros elementos. El plástico por ser un elemento que puede ser utilizado en diversas disciplinas y son clasificados según su naturaleza y su estructura interna. (Lopez, Roura, 1989)

Todas aquellas que son clasificadas como por su naturaleza provienen de materiales como: celulosa, caseína de leche y látex. Los denominados sintéticos dentro de la clasificación de plásticos de naturaleza son todos aquellos elaborados con derivados del petróleo, carbón o gas natural. Los plásticos clasificados debido a su estructura interna son clasificados en: termoplásticos, termoestables y elastómeros.

Los rangos de características específicas en las cuales se puede clasificar el plástico se pueden encontrar: rigidez, tenacidad y flexibilidad. Algunas de las propiedades físicas que atraen a los consumidores, debido a que se clasifican según el uso, es decir, la actividad y el fin con el cual el producto se utilizara, se pueden encontrar: Mecánicas, Acústicas, Eléctricas y Térmicas.(Lopez, Roura, 1989)

1. Polímeros termoestables. Son todos aquellos que, son blandos al calentarlos por primera vez, y después de enfriar no pueden recuperarse para transformaciones posteriores. Estos suelen ser compactos y duros y regularmente insolubles para la mayoría de los solventes. Estos suelen encontrarse en entornos de alta demanda térmica debido a que no se ablandan y se tienen a carbonizar a altas temperaturas.

2. Polímeros termoplásticos. Estos tipos de polímeros se comportan de manera estable al estar expuestos a altas temperatura y grandes presiones. Las temperaturas máximas a las cuales estos pueden estar expuestos durante su utilización son bastante bajas, comparados a los de ablandamiento y fusión, esto ya que es alrededor de la mitad de la temperatura de la misma. Este material suele tener una tendencia a absorción de humedad y tiene variaciones en sus esfuerzos mecánicos, lo cual llega a reducir considerablemente resistencias de materiales. A diferencia de los demás plásticos, estos no se ablandan al ser calentados de nuevo.(Lopez, Roura, 1989)

3. Elastómeros. Los elastómeros tienen compuestos químicos cuyas moléculas llamadas monómeros forman grandes cadenas, las cuales hacer que este tenga la cualidad de deformarse en gran medida sin que sufran de una deformación plástica. Este tipo de plásticos se obtiene por vulcanización, el cual consiste en mezclar azufre y caucho a 160 °C, lo que confiere dureza, resistencia y durabilidad, sin perder la elasticidad natural. (Lopez, Roura, 1989)

4. Polipropileno (PP). El polipropileno es uno de esos polímeros versátiles que andan a nuestro alrededor. Cumple una doble tarea, plástico y fibra. El polipropileno es un polímero termoplástico que se puede fabricar polimerizando moléculas de propileno. Se deriva de tres fuentes principales, la mayor parte del monómero de propileno proviene del proceso de craqueo al vapor utilizando nafta, que es una fracción valiosa del petróleo crudo. (Shubhra *et al.*, 2013)

El polipropileno (PP) posee varias propiedades útiles como alta temperatura de distorsión por calor, transparencia, resistencia al fuego y estabilidad dimensional. Como material de matriz, el PP se usa ampliamente porque tiene excelentes propiedades para la fabricación de compuestos. El PP también es muy adecuado para rellenar y reforzar mezclas. El polipropileno con polímeros fibrosos naturales es una de las rutas más prometedoras para crear compuestos poliméricos sintéticos naturales.(Shubhra *et al.*, 2013)

El polipropileno es un polímero ligero con una densidad de 0,95 g/cm³ que lo hace adecuado en muchas aplicaciones industriales. Aunque no es adecuado para su uso a temperaturas inferiores a 0 °C, el polipropileno tiene propiedades físicas, mecánicas y térmicas excelentes y deseables cuando se usa en aplicaciones a temperatura ambiente. Es relativamente rígido y tiene un alto punto de fusión, baja densidad y relativamente buena resistencia a los impactos.(Hisham A. Maddah, 2016)

El polipropileno PP tiene una de las densidades más baja entre los plásticos básicos, tiene una excelente resistencia química y se puede procesar mediante muchos métodos de conversión, como el moldeo por inyección y la extrusión. El polipropileno es un polímero preparado catalíticamente a partir de propileno. Su principal ventaja está relacionada con la resistencia a altas temperaturas que hace que el PP sea particularmente adecuado para artículos como bandejas, embudos, cubos y botellas.(Hisham A. Maddah, 2016)

La cristalinidad típica del PP está entre el 40 y el 60 %. El PP es un polímero termoplástico de bajo costo con excelentes propiedades como resistencia al fuego, transparencia, alta temperatura de distorsión por calor, estabilidad dimensional y reciclabilidad, lo que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones.(Hisham A. Maddah, 2016)

5. Polietileno (PE). El polietileno (PE) es un tipo de plástico, los productos de polietileno son muy comunes en el día a día de muchas personas. Aunque el PE tiene una de las estructuras más simples entre los polímeros, sigue siendo uno de los materiales polimérico más utilizados. Los productos que contienen el PE son productos como envases de alimentos aislamiento de cables, tubería, perfiles y láminas.

El polietileno se encuentra entre las cinco mayores producciones y consumos de resina sintética del mundo. Las principales variedades son polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno lineal de baja densidad (LLDPE). El polietileno es muy sensible al estrés ambiental (químico y mecánico) y tiene poca resistencia al envejecimiento por calor. Las propiedades del polietileno varían según la estructura molecular y la densidad (0,91 hasta 0,96 g / cm³), este se puede obtener mediante diferentes métodos de producción tales como los procesos generales de termoplásticos.(Zhong *et al.*, 2018) 2013)

El PE es un material sintético prometedor con excelentes propiedades físicas y químicas. Tiene un alto grado de mecánica. propiedades y excelente combinación de buenas propiedades dieléctricas. Además, el proceso de moldeo es bueno y es económico. Algunos de los aspectos que sobresalen del PE son: Aislamiento eléctrico, agentes anticorrosivos y embalaje.

El PE se puede producir en moldeo por soplado, extrusión, moldeo por inyección y otros métodos de procesamiento, así como en la fabricación de películas delgadas, productos huecos, fibras y artículos de uso diario. En la producción real, para mejorar la estabilidad oxidativa del PE, se requiere una pequeña cantidad de aditivos plásticos. Los absorbentes de UV habituales son la o-hidroxibenzofenona o sus derivados alcoxy. Además, la adición de antioxidantes, lubricantes y colorantes ha ampliado su aplicación.(Zhong *et al.*, 2018)

F. Mampostería

La mampostería es un sistema constructivo utilizado a través del tiempo, el cual consiste en la superposición de elementos estructurales como: ladrillos de barro y bloques de concretos prefabricados. Estos son empleados para la construcción de diferentes tipos de estructuras.

El uso de la mampostería ha cambiado a con los años según las necesidades de las necesidades de las épocas. Los diferentes sistemas que existen dentro de la mampostería han podido llegar desarrollarse hasta lograr sistemas integrales que comprenden hierro, concreto, ladrillos y bloques de

concreto prefabricado.

El sistema constructivo de la mampostería es un sistema que es empleado en diversas obras de ingeniería civil, tales como: muros de retención, bóvedas, división de ambientes, residencias, edificaciones (de hasta cuatro niveles), entre otros. Su aceptable comportamiento sísmico para obras estructurales de gran magnitud y durabilidad han hecho que sea un sistema trascendente. Además, debido a su accesible costo, durabilidad y su proceso constructivo hace que sea un sistema aceptado por la población a través del tiempo.

Cuando los muros de mampostería que no cuentan con un adecuado confinamiento tales como: una cantidad insuficiente del refuerzo en los elementos confinantes o no presentan ningún tipo de refuerzo, se han detectado cuatro tipos de patrones de agrietamiento. Estos dan origen a fallas en los muros como lo son las fallas de corte por deslizamiento, falla de corte, falla de flexión y falla por aplastamiento por compresión diagonal. Estos tipos de fallas pueden causar grandes daños irreparables en la estructura o hasta incluso el colapso.(Vasconcelos & Sánchez, 1999)

G. Bloque hueco de concreto:

Este es un elemento en forma de un prisma, el cual está elaborado con materiales como cemento hidráulico, agua, agregados finos y gruesos. Los bloques huecos de concreto tienen más de un agujero en su interior y deben de cumplir con varias especificaciones, los cuales son mencionados en la norma (COGUANOR-41054, 2020), el cual indica las propiedades y características tanto físicas como mecánicas, para ser utilizado dentro de los sistemas de mampostería.

Además, se podrán utilizar otros constituyentes tales como agentes incorporadores de aire, pigmentos colorantes, repelentes integrales de agua, sílice finamente pulverizada, puzolanas y otros, siempre y cuando se haya establecido previamente que son apropiados para usarse en la preparación del concreto. Estos podrán ser utilizados una vez se cumplan con las normas establecidas para tales constituyentes y que no alteren el desempeño y las características de uso del producto. (COGUANOR-41054, 2020)

1. Clasificación y tipo. La clasificación de cada uno de los bloques fabricados deberá ser ensayado por medio de la metodología de ensayo de resistencia a la compresión a 28 días de la norma (COGUANOR-NTG-41055-h1, 2020). Se deberá de cumplir con los requisitos de absorción de humedad y densidades según la clasificación de los bloques de concreto. Además, cabe destacar que los bloques se encuentran configurados en dos tipos, los cuales son: tipo UT (Un tabique central) y tipo DT (Doble tabique central). Estos tipos se pueden observar en la Figura 1. Las categorías utilizadas serán descritas en el siguiente cuadro:

2. Resistencia a la compresión. Los bloques huecos de concreto, deben cumplir con la resistencia especificada y se debe calcular como el promedio de cinco bloques como mínimo. Ningún bloque individual de los cinco o más ensayados deberá estar por debajo de la mínima resistencia esperada del Cuadro 3. El ensayo se debe realizar a 28 días después de fabricado el bloque y de acuerdo al procedimiento descrito en la norma (COGUANOR-NTG-41055-h1, 2020),

Los bloques con resistencia promedio de cinco bloques de concreto o más, podrán ser utilizados, una vez estos proporcionen por lo menos el 80 % de la resistencia especificada en el Cuadro 3. Además, deberá existir evidencia de un control estadístico de los lotes de fabricación, que el producto despachado cumple con la resistencia mínima.

Cuadro 2
Clasificación de bloques de concreto según norma

Clasificación	Descripción
Clase A	Con resistencia a la compresión promedio mínima de 133.0 kg/cm ² y con una absorción promedio menor o igual a 10 %
Clase B	Con resistencia a la compresión promedio mínima de 100 kg/cm ² y con una absorción menor o igual a 15 %
Clase C	Con resistencia a la compresión promedio mínima de 66 kg/cm ² y con una absorción mínima promedio menor o igual a 20 %

Fuente: (COGUANOR-41054, 2020)

Cuadro 3
Resistencia mínima a compresión sobre área neta

Clasificación	Resistencia mínima a compresión, calculada sobre área neta del bloque de concreto	
	Promedio de 5 bloques o mas Kg/cm² (N/mm²)	Mínimo de bloque individual Kg/cm² (N/mm²)
Clase A	133.3 (13.0)	113.0 (11.1)
Clase B	100.0 (9.8)	85.0 (8.3)
Clase C	66.0 (6.5)	56.0 (5.5)

Fuente: (COGUANOR-41054, 2020)

3. Clasificación por absorción. Según la norma (COGUANOR-41054, 2020) la máxima absorción de agua será de 24 horas para los bloques huecos de concreto. Los resultados obtenidos serán comparados con lo indicado en el Cuadro 4. La absorción promedio se debe calcular con tres bloques como mínimo y ningún bloque individual debe sobrepasar la absorción máxima indicada.

Cuadro 4
Absorción máxima de agua en bloques huecos de concreto

Clasificación	Absorción de bloque de concreto (Medido en %)	
	Valor promedio de 3 bloques mínimo	Valor máximo de bloque individual
Clase A	<10	11.0
Clase B	<15	16.5
Clase C	<20	22.0

Fuente: (COGUANOR-41054, 2020)

4. Clasificación por densidad (Masa unitaria). Los bloques de concreto que se encuentren totalmente secos al horno, serán clasificados por la norma (COGUANOR-41054, 2020) según la masa de concreto. A pesar de que las densidades de los bloques disponibles sean variables, se recomienda consultar con los fabricantes, con el fin de utilizar información precisa de los bloques a para luego ser utilizados dentro de cualquier tipo de proyecto.

5. Dimensiones. La estandarización de las medidas de los bloques hueco de concreto es de alta importancia para realizar los cálculos de la resistencia de la mampostería, como determinar el espacio físico que estos ocuparan. Según la norma (COGUANOR-41054, 2020), Las Medidas nominales: de los bloques huecos de concreto serán iguales a las medidas reales en 10 mm, debido al espesor de la junta norma con el mortero.

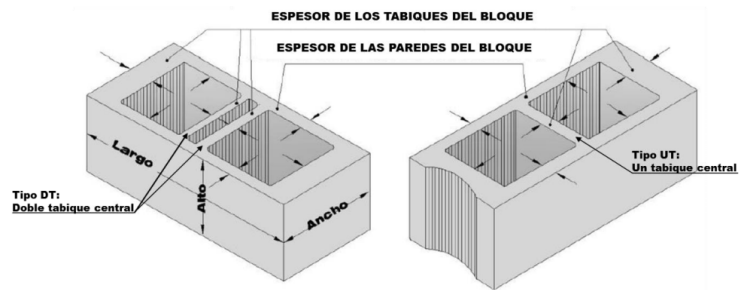
Cuadro 5
Clasificación de bloques de concreto por densidad

Clasificación	Densidad de los bloques (Promedio de 3 bloques huecos de concreto como mínimo)
Pesado	Mayor a 2000 Kg/m ³ (125 lb/pie ³)
Medio	Igual o mayor a 1680 Kg/m ³ (105 lb/pie ³), y menor a 2000 Kg/m ³ (125 lb/pie ³)
Liviano	Menor a 1680 Kg/m ³ (105/pie ³)

Fuente: (COGUANOR-41054, 2020)

Dentro de la norma (COGUANOR-41054, 2020) se puede permitir una variación en las medidas principales, los cuales podrán ser de 3 mm con respecto a las medidas reales especificadas. Además, los espesores de las paredes dentro de las dimensiones de los tabiques y de los bloques de concreto deberán tener como mínimo las especificaciones de los espesores mínimos de las paredes frontales y de los tabiques de los bloques.

Figura 1. Espesor de paredes y de tabiques del bloque de concreto



Fuente: (NTG 41054)

Cuadro 6
Medidas principales reales de los bloques huecos de concreto

Medidas principales reales (cm)		
Ancho	Alto	Largo
19	19	39
14	19	39
19	19	19
14	19	19
9	19	39
9	19	19

Fuente: (COGUANOR-41054, 2020)

Dentro de la apariencia de los bloques de concreto cuando se determinen las dimensiones reales, estos deberán ser inspeccionados que sean libres de grietas o algún tipo de defecto que pueda afectar las propiedades mecánicas del elemento. Esas grietas según (COGUANOR-41054, 2020), serán de un ancho no mayor de 0.5 mm, además de que no tendrá que sobrepasar el 25 % del largo del bloque en cualquiera de sus dimensiones.

Cuadro 7
Espesores mínimos de las paredes frontales y de tabiques de los bloques

Ancho real del bloque (cm)	Espesores mínimos de paredes frontales, como mínimo promedio de 3 bloques (mm)	Espesores mínimos de los tabiques, como mínimo promedio de 3 bloques (mm)
14	19	39
19	19	19
9	19	39

Fuente: (COGUANOR-41054, 2020)

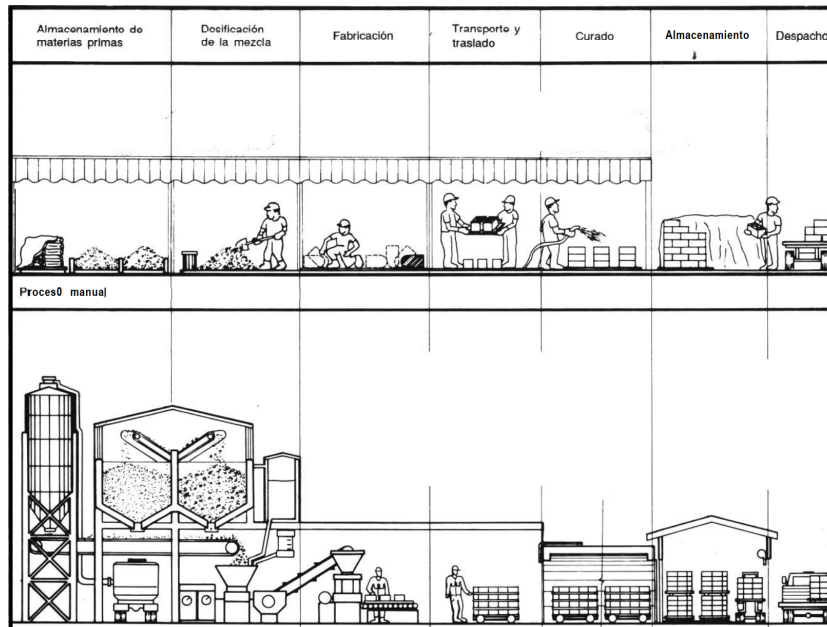
H. Fabricación de los prismas de concreto para mampostería

Los bloques huecos de concreto que se elaboran se pueden realizar con diferentes modalidades que pueden hacerse desde un proceso manual, hasta otros más sofisticados como los autónomos. Los diferentes tipos de maquinaria utilizada para fabrica los bloques de concreto se pueden clasificar tanto en si rendimiento como en la función en la cual ejerce dentro del proceso de fabricación.

La elaboración de los prismas en Guatemala deben de ser fabricados con unidades de mampostería representativas de las actualmente utilizadas en la construcción. Si en caso las unidades tienen estrías o nervaduras que se proyecten 12.5 mm (½ pulg) o más, sobre la superficie de la unidad, se debe remover tales estrías o nervaduras por aserrado a ras con la superficie de la unidad en la base de la estría o nervadura. (COGUANOR-NTG-41051-h2, 2020)

En el siguiente esquema de la Figura 2 se aprecia de manera visual los diferentes tipos de procesos que ocurren a lo largo de la fabricación de los bloques huecos de concreto, estos mantienen sus objetivos a pesar que se tengan procesos manuales o industrializados.

Figura 2. Esquema de los procesos de fabricación de los bloques de concreto



Fuente: (Arrieta, 2010)

I. Equipo

Los equipos para los procesos de fabricación de las piezas de mampostería son muy importantes, por lo que saber el uso y lugar específico dentro de la planta puede mejorar tiempos de fabricación y calidad en el producto final. Como se menciona anteriormente, se evaluarán las maquinarias según su rendimiento y su funcionamiento.

Todos los que son considerados de rendimiento bajo, son equipos manuales o artesanales con producciones de un bloque por ciclo (aproximadamente 300 bloques por día). Los de rendimiento medio, son equipos con sistemas mecánicos, eléctricos o hidráulicos donde la producción por ciclo es de varios bloques por lote (aproximadamente entre 500 - 2.400 unidades diarias. Por último, los de rendimiento alto, son para grandes plantas con producción de mezcla y manejo integrado de los productos (aproximadamente de 2.400 bloques o más diarios).(Arrieta, 2010)

Por otro lado los equipos que se clasifican según su funcionamiento, estos pueden ser equipos móviles (pueden ser moldes o equipo de menor tamaño) y equipo estático, el cual suele ser todo aquel que incluye maquinas que son mecánicas o hidráulicas de gran tamaño, las cuales usualmente son utilizadas por plantas de medio y alto rendimiento.(Arrieta, 2010)

1. Selección y almacenamiento de materia prima. La selección de los materiales se dará a cabo según lo indicado dentro de la norma (COGUANOR-NTG-41007, 2020), la cual define los requisitos para la granulometría y la calidad de los agregados finos y grueso de densidad normal (distintos del agregado liviano o pesado) para ser utilizados en el concreto.

Al utilizar materiales no convencionales para la fabricación de las unidades de mampostería se hará un examen crítico en base a la norma (COGUANOR-NTG-41063, 2020) en la cual nos indica los criterios con los cuales debe de cumplir para ser utilizado dentro de la mezcla, además de la a obtener las especificaciones sobre los agregados a ser utilizados dentro de la fabricación de las unidades de mampostería.

El lugar donde se hará la recepción debe ser amplio es amplio, ya que debe de permitir que el transporte de carga pueda movilizar el material, sin tener complicaciones o interferir con tráfico aledaño a la planta. Luego de hacer la recepción de los materiales se deberá almacenar los diferentes materiales según sus características y uso dentro del proceso de fabricación, tales como el cemento, agua, agregados gruesos y finos.

2. Dosificación para mezcla. En el proceso de dosificación se tiene como objetivo realizar una mezcla con la cual se obtenga la resistencia a compresión esperada del prisma, además de una cohesión en estado en el estado inicial del curado, con el fin de transportar las piezas sin que se deformen o dañen.

La dosificación puede realizarse por medio de un método volumétrico, en el cual se dosifica por medio del volumen de cada agregado a utilizar. Sin embargo, la más convencional es la dosificación por peso, en la que se utilizan proporciones de los agregados que son pesados en una báscula y luego transportados a una mezcladora.

3. Mezcla. El proceso de mezcla se puede realizar de manera manual, pero es preferible hacerlo en una mezcladora que garantice su homogeneidad. Para que el proceso de mezcla manual sea efectivo, en cada operación se debe pasar la mezcla de un arrume a otro, hasta lograr un color uniforme. Si persisten grumos, especialmente en la arena, estos se deben tritura. Es conveniente

tamizar el agregado inmediatamente antes de iniciar la mezcla de los materiales para facilitar el proceso de mezcla y homogeneizar de los agregados. (Arrieta, 2010)

4. Elaboración de piezas de mampostería. Para el proceso de elaboración de las piezas de mampostería, primero se debe verificar que cada uno de los moldes a utilizar cumplan con las características necesarias deseadas, además de una buena condición física. Los moldes que deberán estar completamente limpios, sin importar del material del que estén hechos, normalmente se coloca una cubierta de desmoldante dentro del recipiente para una mejor extracción de las piezas de mampostería.

Una vez se tenga listo el molde, se deberá colocar la mezcla adentro, hasta llegar completamente el molde. Se deberá aplicar vibración por alrededor de 3 segundos al molde para evitar que se queden vacíos dentro de la mezcla, luego llegar molde con mezcla y repetir proceso de vibración y llenar hasta que no pueda introducir más mezcla al molde. Una vez finalizado el proceso se deberá desmoldar la pieza de mampostería con el mayor cuidado posible.

5. Fraguado. Luego del proceso de desmolde, se debe de colocar las piezas de mampostería recién fabricadas en reposo, en un tiempo aproximado de 12 horas, de tal manera que estén protegidos del sol, vientos fuertes y lluvias, con la finalidad de llegar a cabo la primera etapa del fraguado. Luego se podrá retirar las piezas de mampostería a otra superficie, una vez se tenga una resistencia suficiente para que estos puedan ser manipulado.

6. Curado. El curado de las piezas de mampostería consiste en mantener los bloques en condiciones de humedad y temperatura constante para que se desarrolle la resistencia deseada en el elemento. Existen diferentes métodos para realizar el proceso de curado, usualmente los bloques son rociados con agua constantemente (preferiblemente con rociadores), con el fin de que no sequen por lo menos durante los primeros 7 días.

Dentro de los métodos más empleados se pueden utilizar láminas que creen una cámara hermética, en la cual la humedad no se escape del lugar por medio de la evaporación. Otra forma es cubrir los bloques con telas o mantas de algodón humedecidas que cubra toda la superficie de los bloques, estos deberán ser humedecidos constantemente para mantener la humedad. Para mejores resultados los bloques deberán estar aislados de cualquier tipo de exposición al sol directa, además de viento fuentes que afecten la humedad en el ambiente.

7. Manejo y almacenaje. El manejo de los bloques debe de realizarse con cuidado, se deberán colocar en manera individual o agrupada, sin deformar o dañar los elementos. Estos suelen ser transportados por medio de carretas o maquinaria industrial como bandas transportadoras.

El proceso de almacenaje consiste en el traslado a una bodega de almacenamiento de los bloques hasta su momento de despacho. A pesar que el proceso de curado ha terminado, la resistencia de las piezas de mampostería seguirá aumentando, hasta llegar a la resistencia esperada de los 28 días según la norma (COGUANOR-41054, 2020)

La bodega para almacenar deberá de ser preferiblemente con techo, ya que al momento del despacho es preferible no exceder que los bloques tengas una humedad que sobrepase el 40 % del nivel de humedad de elemento, con el fin de que estos no sufran encogimientos acelerados en obra.

El manejo de los bloques en bodega de almacenamiento se hace normalmente por medio de estibas, las cuales permiten el uso de cargadores, para transportar grandes volúmenes de bloques

de concreto. Estas estibas están hechas de madera y permiten segregar los bloques por medio la información del proceso de fabricación, es decir, identificando el día y características del lote sobre la estiba.

VI. Ensayo en materiales

A. Agregados

Para la constitución de los agregados de los bloques huecos de concreto, se utilizan las gravas y las arenas de origen natural y manufacturadas. Dentro del territorio guatemalteco se pueden encontrar agregados de diferentes procedencias, estos pueden llegar a ser para los agregados finos de origen: río, mina, arenas pómez, blancas hasta procedencia volcánicas. Por otro lado, los agregados gruesos o piedrines suelen ser de roca de cantera, canto rodado y escorias volcánicas.

Los agregados son un componente esencial dentro de la mezcla del concreto, estos constituyen una gran mayoría del material del bloque de concreto. Para la fabricación de los bloques se estarán utilizando agregados de origen manufacturada, con el fin de utilizar tamaños específicos de los granos o partículas que constituyen el suelo y asegurar que estos cumplan con los requisitos de la norma COGUANORNTG-41007.

Figura 3. Banco de agregado



Fuente: **Propia**

1. Agregado fino. El agregado fino utilizado dentro de la mezcla es manufacturado, esta proviene del sur del país y contiene un módulo de finura bajo, tal y como se muestra en el Cuadro 20. El módulo de finura del agregado fino es aceptable dentro del rango establecido por la norma NTG 41007.

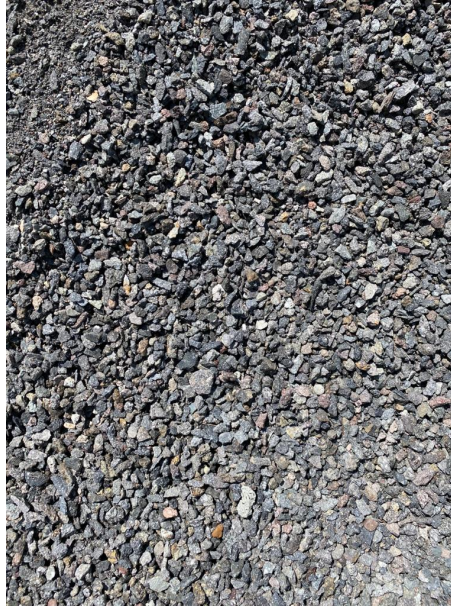
Se escogió este tipo de arena para la mezcla de concreto por ser de origen manufacturado por lo que no contiene ningún tipo de material orgánico visible, además tiene una homogeneidad y buena distribución en el tamaño de las partículas. Este tipo de suelo suele ser muy utilizado en la industria de la fabricación de los bloques de concreto, por lo que este material será el remplazado dentro de la mezcla por material plástico triturado.

2. Agregado grueso. El agregado grueso que fue elegido para la mezcla es de origen manufacturado, este siendo de origen de roca de cantera, conocido como polvillo de roca. El agregado escogido proviene de Guanagazapa, Guatemala, lugar donde es procesado y luego enviado a los proveedores por medio de transporte pesado.

Debido a que según la norma NTG 41007 indica que la calidad de operación específica de un productor debe de respetar una granulación promedio dentro de las instalaciones de producción, estos

también tendrán sus propias tolerancias respecto de este promedio de grano. Se escogió un tamaño de grano específico al cual después fue sometido a una prueba granulométrica para determinar la distribución de los granos o partículas del agregado, tal y como se muestra en la Figura 8.

Figura 4. Muestra de agregado grueso



Fuente: **Propia**

3. Material plástico - polipropileno (PP). El agregado plástico es un termoplástico llamado polipropileno de alta densidad. Este termoplástico es de bajo costo en el mercado, tiene muy buenas propiedades físicas, además puede aportar propiedades térmicas, químicas y mecánicas a cualquier producto que se desee realizar. El polipropileno es un polímero con estructura lineal con muy pocas ramificaciones, los cuales se obtienen con un proceso de polimerización del etileno a presiones bajas utilizando catalizadores como procesos Phillips y Ziegler-Natta. HishamA.Maddah2016

El polipropileno de alta densidad a utilizar es reciclado, por lo que ya paso por un proceso de reciclaje mecánico. Este tipo de proceso consiste en la recepción, almacenaje, identificación y trituración del material con la finalidad de que se obtengan partículas en forma de granza, para luego ser cadena de producción posterior.

Una vez realizado el reciclaje mecánico, el agregado plástico paso por un moldeo por extrusión, en el cual se introducen las partículas de polipropileno de alta densidad en forma de granza a un cilindro, aquí se encuentra un husillo en su interior. El material plástico fue compactado y fundido dentro del cilindro y luego extruyó por el cabezal de la maquina extrusora. El material salió en forma de tubo, el cual es enfriado en agua y después cortado transversalmente haciendo granos de un diámetro de alrededor de a tres milímetros.

A pesar que el polipropileno de alta densidad a utilizar es reciclado, no tiene ningún cambio en sus propiedades mecánicas, físicas, químicas y térmicas. Según la ficha técnica del material, su densidad se mantiene en 0.95 g/cm^3 , además presenta un alto grado de cristalinidad, lo que lo hace de color obscuro. Su larga vida útil y su versatilidad para ser fabricado a medida de las necesidades de cada consumidor hacen que este material pueda ser utilizado dentro de la mezcla de concreto.

Figura 5. Polipropileno de alta densidad triturado



Fuente: Propia

Cuadro 8
Propiedades del polipropileno de alta densidad

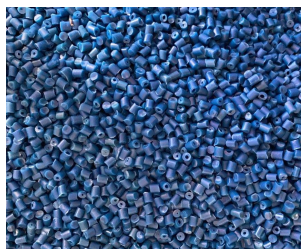
Propiedades	Valor	Unidades
Densidad	0.95	g/cm ³
Absorción de humedad	>0.1	%
Contracción	1.5-3	%
Módulo de flexión	15.396	kg/cm ²
Elongación de ruptura	613	%
Resistencia a la tensión a la ruptura	175	kg/cm ²

Fuente: (Hisham A. Maddah, 2016)

4. Material plástico - polietileno de alta densidad (PE). El polietileno de alta densidad es un termoplástico de bajo costo en el mercado, tiene muy buenas propiedades físicas, además puede aportar propiedades térmicas, químicas y mecánicas a la mezcla que se desea realizar. El polietileno es un termoplástico que se obtuvo mediante un método de extrusión. La densidad del plástico utilizado es de 0.94g/cm².

Al igual que el polipropileno de alta densidad a utilizar, el polietileno de origen es reciclado, por lo que paso por un proceso de reciclaje mecánico. Este tipo de proceso consiste en la recepción, almacenaje, identificación y trituración del material a modo que queden partículas en forma de granza, con el fin de utilizarlo en una cadena de producción posterior. El polietileno de alta densidad paso por un proceso de reciclaje mecánico, en el cual se introducen las partículas de plástico forma de granza a un cilindro, aquí se encuentra un husillo en su interior. El material plástico es compactado y fundido dentro del cilindro y luego extrudió por el cabezal de la maquina extrusora. El material salió en forma de tubo, el cual es enfriado en agua y después cortado transversalmente haciendo granos de un diámetro de alrededor de tres milímetros.

Figura 6. Polietileno de alta densidad triturado



Fuente: Propia

Cuadro 9
Propiedades del polietileno de alta densidad

Propiedades	Valor	Unidades
Densidad	0.94	g/cm ³
Absorción de humedad	>0.0	%
Contracción	3	%
Elongación de ruptura	600	%
Resistencia a la tensión a la ruptura	140.3	kg/cm ²

Fuente: **Propia**

B. Análisis granulométrico - NTG 41007/ASTM C136

El análisis granulométrico fue realizado a cada uno de los agregados a utilizar dentro de la mezcla de concreto, con la finalidad de determinar el tamaño de las partículas o granos que conforman el suelo. La distribución de los tamaños de las partículas fue determinada por el análisis de tamiz, el cual se emplea en partículas mayores a 0.0075 mm de diámetro.

El análisis granulométrico empleado está basado conforme la norma ASTM C136, la cual consiste en determinar la cantidad de partículas de varios precisos tamaños que se encuentran distribuidos en la muestra del suelo. Para este análisis se debe de pesar primero la muestra que se desea analizar, luego se introduce a una maquina tamizadora que contiene un grupo de tamices de diferentes aberturas de tamaño, ordenada de forma vertical y están colocadas decrecientes de arriba hacia abajo.

Una vez se introduce el suelo a la maquina tamizadora en la parte superior, el cual debe de encontrarse seco al horno, la maquina vibra por sesenta segundos con el fin de segregar todos los tamaños de partículas en el suelo. Luego se determina la cantidad de suelo retenido en cada tamiz y se obtiene la curva de distribución de los tamaños de las partículas del suelo. Dentro de la representación gráfica de la distribución del suelo de la muestra se coloca el diámetro del tamiz en el eje "X", y el porcentaje que de suelo que pasa en cada tamiz en el eje "Y".

Figura 7. Máquina tamizadora



Fuente: **Propia**

1. Análisis granulométrico de agregado grueso. Para la distribución del tamaño de las partículas de suelo, se puede apreciar que dentro del Cuadro 10 la mayor parte del porcentaje retenido del suelo fue en tamiz número 8, con un porcentaje del treinta y nueve por ciento. Estos altos porcentajes de retención al comienzo de la segregación de tamaños de partículas de la muestra en los tamices, el cual genera un efecto de una pendiente o inclinación en la gráfica casi vertical al inicio del gráfico y luego bajando su inclinación gradualmente.

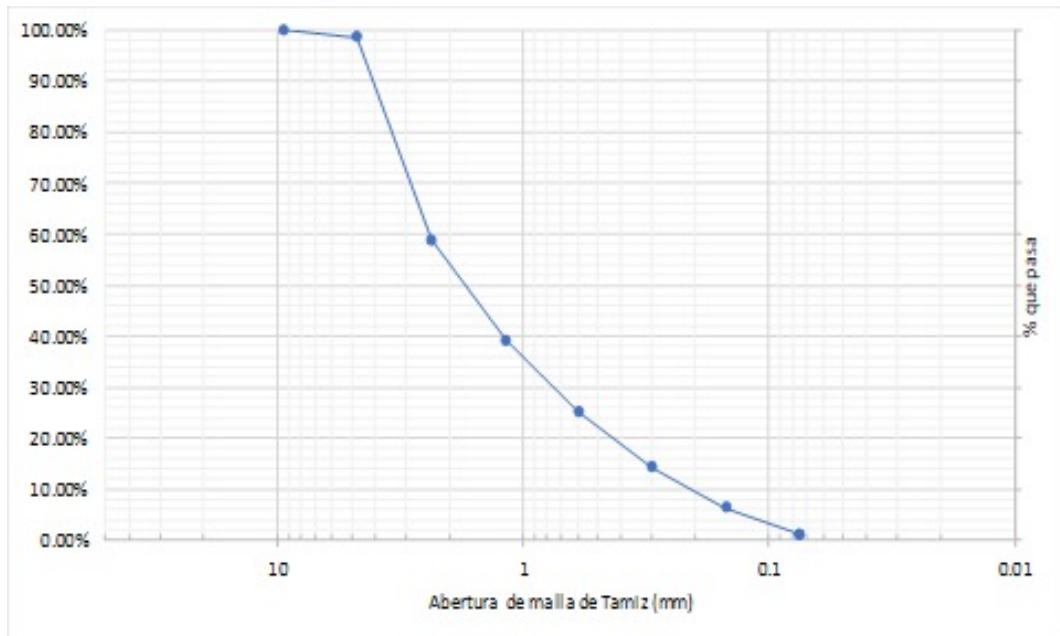
La inclinación casi vertical dentro de la Figura 8, representa una homogeneidad en los tamaños de las partículas más grandes que representan el suelo. Mientras el tamaño de las partículas del suelo baja, estas se vuelven con menor uniformidad y a su vez tienen una mejor distribución del suelo.

Cuadro 10
Granulometría de agregado grueso

Abertura de malla en tamiz (mm)	# de tamiz (in)	Retenida (g)	% Retenido	% Acumulado	% Que pasa
19	3/8	0	0	0	100
4.75	4	6.72	1.32	1.32	98.68
2.36	8	203.16	39.86	41.18	58.82
1.18	16	100.02	19.62	60.80	39.20
0.6	30	71.58	14.04	74.84	25.16
0.3	50	55.32	10.85	85.70	14.30
0.15	100	40.68	7.98	93.68	6.32
0.075	200	26.88	5.27	98.95	1.05
0	Fondo	5.34	1.05	100	0

Fuente: **Propia**

Figura 8. Curva granulométrica de agregado grueso



Fuente: **Propia**

2. Granulometría de agregado fino. La granulometría del agregado fino se demuestra que luego del análisis realizado por tamizado la distribución de las partículas del suelo, tal y como se muestra en el Cuadro 9, la retención de los agregados por cada tamiz no supera el treinta por ciento. Se puede deducir que por la forma de la Figura 9, se puede concluir que es un suelo bien graduado, es decir, con una buena distribución de los tamaños de las partículas de suelo.

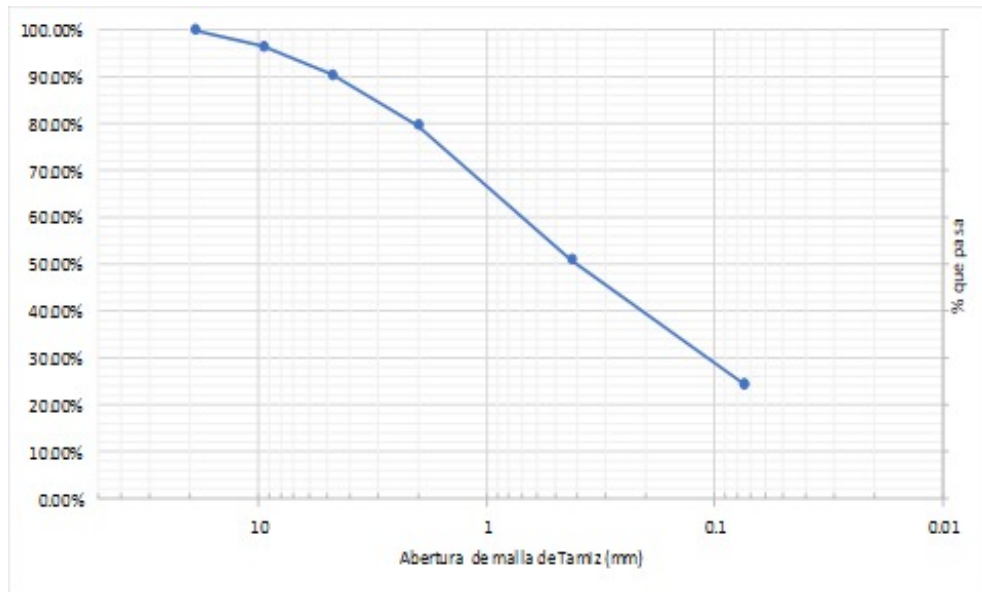
El agregado fino, por su curva granulométrica en la Figura 9, también define que el suelo tiene una uniformidad en relación en los tamaños de suelos, esto nos beneficia con la mezcla de concreto ya que se sabrá que no existe una carencia en los tamaños de las partículas del suelo, por ende no habrán vacíos en la mezcla de concreto causados por el agregado fino en relación de los tamaños de partículas máximos y mínimos de este suelo.

Cuadro 11
Granulometría de agregado fino

Abertura de malla en tamiz (mm)	# de tamiz (in)	Retenida (g)	% Retenido	% Acumulado	% Que pasa
19	3/4	0	0	0	100
9.5	3/8	17.93	3.57	3.57	96.43
4.75	4	30.35	6.05	9.62	90.38
2	10	54.32	10.83	20.45	79.55
0.425	40	143.75	28.65	49.10	50.90
0.075	200	132.41	26.39	75.48	24.52
0	Fondo	123.01	24.52	100	0

Fuente: Propia

Figura 9. Curva granulométrica de agregado fino



Fuente: Propia

3. Granulometría de material plástico - polipropileno y Polietileno. La granulometría del agregado plástico (PP y PE) tienen un comportamiento muy similar y casi idéntico debido a que por sus procesos de producción son realizados dentro de una misma fabricadora que utiliza el

mismo diámetro de partícula en su proceso final antes de su distribución. Estos tamaños de tamaño de las partículas de material plástico fueron realizados del menor tamaño posible por la maquinaria, con el fin de ser dosificados a la mezcla de concreto, sustituyendo el agregado fino del concreto. Como se puede observar en las Figuras 10 y 11, las partículas de plástico mantienen un forma y diámetro estándar, se retiene más del noventa y siete por ciento de las partículas en el tamiz número 4 para cada plástico y el resto en el siguiente tamiz que es número 10.

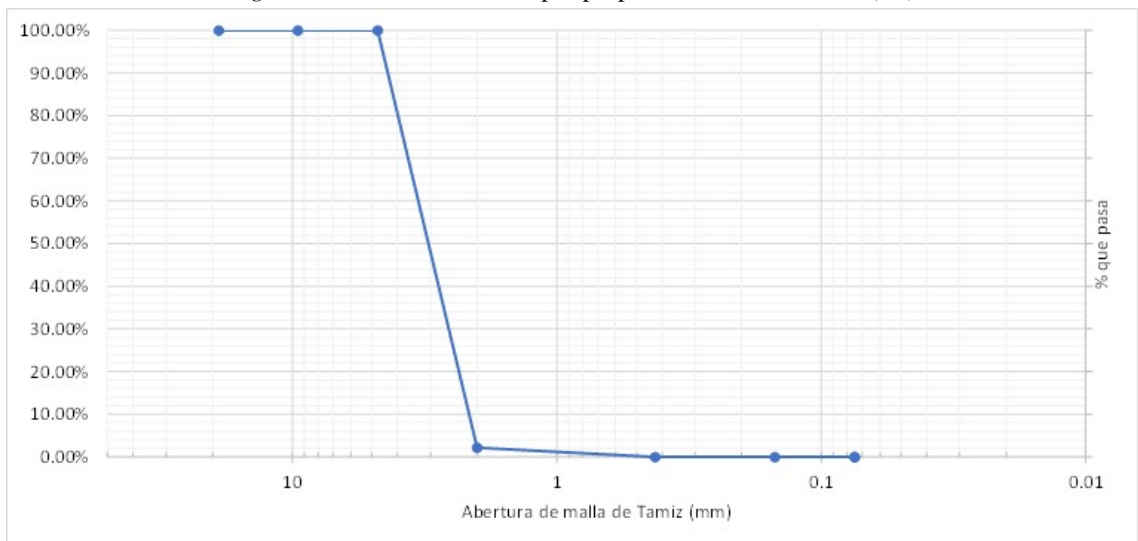
Dentro de las Figuras 10 y 11, se puede apreciar que la curva de distribución de las partículas de plástico abarca solo un pequeño segmento en el rango de valores del eje horizontal, esto debido a una ausencia de diferentes tamaños de partículas de diferentes diámetros. Los tamaños de las partículas no son abarcados en su totalidad dentro de la gráfica, por su forma se puede catalogar como un suelo mal graduado. Sin embargo, la homogeneidad en las partículas nos podrá ayudar a utilizar otros agregados, tanto fino y gruesos que complementen estas partículas para realizar una mezcla bien graduada que no contenga ninguna ausencia de tamaño de partículas.

Cuadro 12
Granulometría de plástico - polipropileno (PP)

Abertura de malla en tamiz (mm)	# de tamiz (in)	Retenida (g)	% Retenido	% Acumulado	% Que pasa
19	3/4	0	0	0	100
9.5	3/8	0	0	0	100
4.75	4	0	0	0	100
2	10	294.1	97.84	97.84	2.16
0.425	40	6.5	2.16	100	0
0.15	100	0	0	100	0
0.075	200	0	0	100	0
0	Fondo	0	0	100	0

Fuente: Propia

Figura 10. Granulometría de polipropileno de alta densidad (PP)



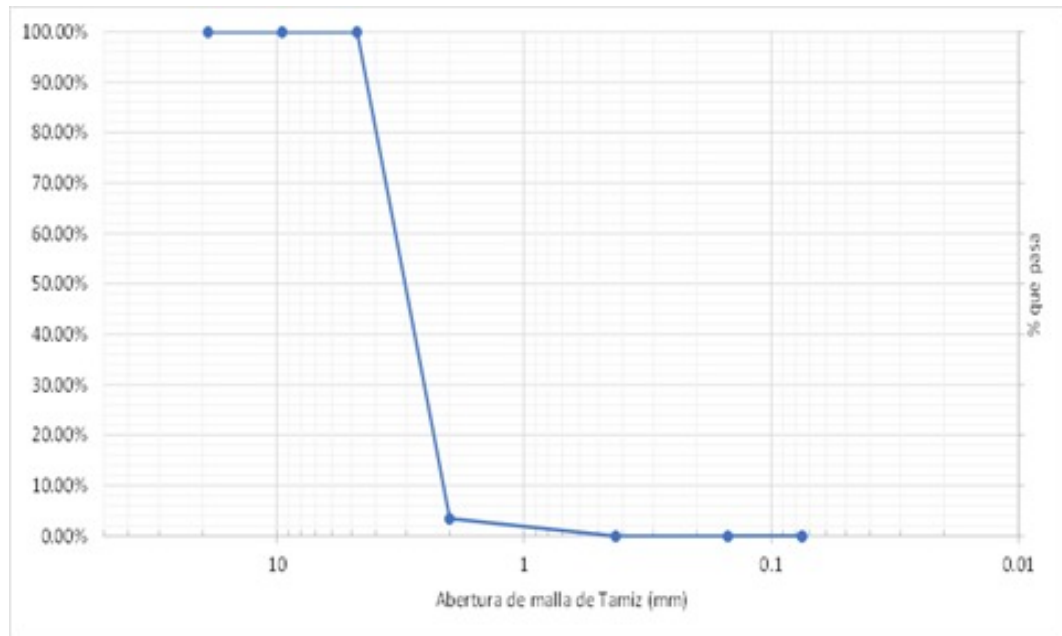
Fuente: Propia

Cuadro 13
Granulometría de plástico - polietileno (PE)

Abertura de malla en tamiz (mm)	# de tamiz (in)	Retenida (g)	% Retenido	% Acumulado	% Que pasa
19	3/4	0	0	0	100
9.5	3/8	0	0	0	100
4.75	4	0	0	0	100
2	10	489	96.54	96.54	3.46
0.425	40	17.5	3.46	100	0
0.15	100	0	0	100	0
0.075	200	0	0	100	0
0	Fondo	0	0	100	0

Fuente: **Propia**

Figura 11. Granulometría de polietileno de alta densidad (PE)



Fuente: **Propia**

C. Absorción de humedad en agregados

La determinación del porcentaje de absorción de humedad fue realizada a tanto el agregado fino como el agregado grueso, la prueba fue realizada con un horno industrial de secado de suelos, tal y como se observa en la Figura 12. Las muestras se encontraron dentro del horno a una temperatura constante por un tiempo de 24 horas a una temperatura de cien grados Celsius. Este tiempo utilizado fue suficiente para que estos perdieran toda humedad posible.

Las muestras fueron pesadas cuando estas se encontraban en un estado saturado y después de haberlas sacado del horno industrial. Se utilizaron las fórmulas de porcentaje de humedad para obtener los respectivos resultados de cada suelo, los cuales fueron tabulados como se observan en los Cuadros 14 y 15

El porcentaje de humedad en los agregados fue 19.76 % para el agregado fino y 9.74 % para el agregado grueso. Estos resultados son cruciales para la elaboración de la mezcla de concreto, debido a que la mezcla contempla la cantidad de agregado a utilizar cuando se encuentra totalmente seco, pero no se desprecia la cantidad de humedad absorbido por el agregado. Esta humedad se utilizará como un factor de guía para la mezcla in situ del concreto, ya que un exceso en la cantidad de agua arrumaría el proceso de producción de los bloques de concreto.

Tanto para el agregado fino como el agregado grueso se puede observar que estos valores son respectivamente altos para lo que normalmente se espera, ya que según (Dowson, 1981), se espera que un agregado fino tenga alrededor de 7 % de absorción de humedad y 4 % para los agregados gruesos.

Este comportamiento del suelo puede ser debido a que el módulo de finura de cada agregado se encuentra en el límite inferior de lo que la NTG 41007 recomienda para cada uno de los agregados a utilizar. Por un lado, el agregado grueso contiene partículas de arena que hacen que este tenga una mayor absorción y por otro lado el agregado fino contiene partículas de limos que retienen más agua en la muestra.

$$\%H = \frac{S - H}{H} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

%H = Porcentaje de humedad de la muestra

S = Muestra de agregado seca al horno por 24 horas

H = Muestra de agregado húmeda

Cuadro 14
Absorción de humedad de agregado fino

Agregado fino		
Tara	45.6	g
Muestra húmeda + Tara	547.1	g
Muestra seca + Tara	448	g
Muestra húmeda	501.5	g
Muestra seca	402.4	g
% humedad	19.76	%

Fuente: **Propia**

Cuadro 15
Absorción de humedad de agregado grueso

Agregado grueso		
Tara	63.6	g
Muestra húmeda + Tara	563.7	g
Muestra seca + Tara	515	g
Muestra húmeda	500.1	g
Muestra seca	451.4	g
% humedad	9.74	%

Fuente: **Propia**

Figura 12. Horno industrial de secado de suelos



Fuente: **Propia**

1. Discusión de resultados. La absorción de humedad en los agregados es un factor esencial para determinar el comportamiento del agua en la mezcla de concreto los bloques de concreto después de su fabricación. Durante el proceso de fabricación la cantidad de agua teórica será afectada por las absorciones de humedad de los agregados debido a que las mezclas teóricas se realizan con agregados en estado seco.

El comportamiento del agregado fino fue alto como el que se esperaba, debido a que tuvo un valor de absorción de humedad del 19.76 %. Este valor nos indica que la cantidad de agua superficial más la cantidad de agua absorbida por las partículas del agregado, absorbieron y retuvieron casi un quinto de peso.

El agregado fino se espera que tenga un fuerte impacto en la retención de agua en los bloques fabricados, esto se reflejara en los resultados cuando se remplace en un 33 %, 66 % y 100 % del agregado fino por plástico. Este impacto se plantea de esta forma debido a que como se observa en los Cuadros 8 y 9, la absorción del plástico (PE y PP) es casi cero.

Por otro lado, el agregado grueso tuvo un comportamiento más permeable que el agregado fino. La absorción del agregado grueso fue de 9.74 %, esto debido a que, dentro del análisis granulométrico del material, tal y como se observa en la Figura 8, contiene partículas de arena las cuales son las responsables de la absorción y retención en la superficie de humedad en el agregado.

D. Densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de masa de agua en agregados finos y gruesos utilizando los métodos NTG 41010 h8, ASTM C 127 y ASTM C 128

La realización de los ensayos y procedimientos del ASTM C 127 y ASTM C 128, determina las propiedades físicas por medio de la gravedad específica saturada de la muestra, la cual estará constantemente variando conforme a su volumen cuando esta se encuentre dentro de la mezcla de concreto. Por otro lado, se conocerá el porcentaje de absorción del agregado, el cual dependerá de la cantidad de masa de agua absorbido durante el ensayo.

Primero se debe de verificar que la muestra se encuentre en una condición SSS (superficie seca saturado). Esto se realizó con un cilindro metálico que tiene la forma de cono, con un diámetro de cuarenta milímetros en la parte superior y noventa milímetros de diámetro en la parte inferior del mismo, además con una altura de setenta y cinco milímetros.

Figura 13. Agregados sobre superficie impermeable en estado seco saturado



Fuente: **Propia**

El cono metálico se colocó sobre una superficie impermeable, luego fue llenado con el agregado hasta el punto en el cual no existiera mayor espacio para la muestra dentro del cono. Se usó un mazo de aproximadamente trecientos cuarenta gramos, con un diámetro de veinticinco milímetros como compactador soltándolo a aproximadamente cinco milímetros arriba del cono por veinticinco veces consecutivas.

Figura 14. Cilindro metálica en forma de cono



Fuente: **Propia**

Una vez compactado el agregado dentro del cono, se debe de retirar el cono de forma vertical. Si el agregado que se encontraba dentro del cono retenía su forma era debido a que todavía muy saturado y tenía un exceso de humedad en su superficie. Este proceso se repitió hasta que el agregado colapsará y perdiera su forma cuando se removía el cono de forma vertical, en este punto la muestra

está en un estado de seco saturado.

Figura 15. Muestra seca saturada después de compactación en cono metálico



Fuente: **Propia**

Luego se debe de tener una probeta o jarra de vidrio para luego ser llenada con agua y debe de ser pesada en una balanza, a su vez se pesó una cantidad de quinientos gramos del agregado en estado SSS. Se introdujo los quinientos gramos del agregado SSS dentro de la probeta vacía, luego esta fue llenada con agua hasta alcanzar un noventa por ciento de su capacidad, el agua debe de estar en una temperatura de veinticuatro grados Celsius. Por último, la probeta se agitó luego que se le introdujera el agua para estar seguros que no se encuentran partículas de aire atrapadas dentro de la muestra.

Figura 16. Probeta con muestra de agregados en agua



Fuente: **Propia**

Una vez completado el proceso de llenado y agitado se pesó la probeta con su contenido de adentro (agua más agregado), luego este fue vaciado en un contenedor impermeable para ser secado a una masa constante. Este contenedor fue introducido a un horno con una temperatura constante de ciento diez grados Celsius y luego fue removido una vez la muestra se encontrará completamente seca. Por último, se pesó la muestra seca de nuevo con una balanza.

Con los datos de los pesos respectivos, se puede llegar a calcular varias características del agregado. Los datos recopilados fueron anotados y agrupados dentro de los Cuadros 16 y 17. Se utilizaron las siguientes ecuaciones para obtener los pesos específicos de los agregados, además de la absorción de agua de los mismos.

Peso específico:

$$\frac{A}{B + S - C} \quad (2)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en horno (g)

B = Peso de la probeta + Agua (g)

C = Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)

S = Peso de muestra SSS (g)

Peso específico SSS (superficie seca saturada):

$$\frac{S}{B + S - C} \quad (3)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en horno (g)

B = Peso de la probeta + Agua (g)

C = Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)

S = Peso de muestra SSS (g)

Peso específico aparente:

$$\frac{A}{B + A - C} \quad (4)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en horno (g)

B = Peso de la probeta + Agua (g)

C = Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)

Absorción:

$$\frac{S - A}{A} \quad (5)$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en horno (g)

B = Peso de la probeta + Agua (g)

C = Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)

S = Peso de muestra SSS (g)

Cuadro 16
Resultados ASTM C 127 para agregado fino

	Muestra #1	Muestra #2	Promedio
A - Peso de la muestra seca en horno (g)	448.2	448.0	-
B - Peso de la probeta + Agua (g)	659.0	659.0	-
C - Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)	924.8	924.6	-
Peso específico Bulk	1.91	1.91	1.91
Peso específico SSS	2.13	2.13	2.13
Peso específico aparente	2.46	2.46	2.46
Porcentaje de absorción	11.56 %	11.61 %	11.58 %

Fuente: **Propia**

Cuadro 17
Resultados ASTM C 128 para agregado grueso

	Muestra #1	Muestra #2	Promedio
A - Peso de la muestra seca en horno (g)	486.4	486.4	-
B - Peso de la probeta + Agua (g)	687.8	687.8	-
C - Peso de la muestra saturada dentro del agua (g)	996.4	996.2	-
Peso específico Bulk	2.54	2.54	2.54
Peso específico SSS	2.61	2.61	2.61
Peso específico aparente	2.74	2.73	2.73
Porcentaje de absorción	2.80 %	2.80 %	2.80 %

Fuente: **Propia**

1. Discusión de resultados. Los resultados de los agregados según los procedimientos ASTM C 127 y ASTM C 128, se pueden observar en los Cuadros 16 y 17. Las condiciones de peso específico y absorción de humedad están basadas en una condición de superficie se saturada (SSS). Esta condición se presenta cuando el agregado tiene todas sus partículas permeables están llenas de agua, sin embargo, no presentan agua en las superficies expuestas de las partículas.

Para los resultados del peso específico bulk, se calculó una relación entre la masa al aire, en un volumen (incluyendo los orificios permeables e impermeables de las partículas del agregado) a la masa de un volumen igual de agua libre de aire a una temperatura establecida. Por lo que se puede decir por los resultados de los Cuadros 16 y 17 que el agregado grueso tendrá una mayor ocupación volumétrica dentro de la mezcla de concreto cuando esta sea diseñada.

El volumen generado dentro de la mezcla será mayor para el agregado grueso que para el fino, ya que como se muestra en los Cuadros 16 y 17, la cantidad de volumen requerida del agregado grueso es mayor debido a sus poros permeables que se encuentran llenos de agua.

El peso específico SSS (superficie seca saturada) calculada, es la relación de la masa al aire, de los volúmenes de los agregados, incluida la masa de agua dentro de los vacíos llenos (pero sin incluir los espacios generados entre las partículas), a la masa de un volumen igual de agua libre de aire a una temperatura establecida. Esta relación determinada tiene una relación aun mayor para los agregados en comparación con el peso específico bulk, esto debido a que las partículas de agregado (fino y grueso) tuvieron un incremento de masa debido a los vacíos que están llenos de agua.

El peso específico aparente determino la relación entre la masa al aire, de un volumen de agregado

con la porción de sus partículas impermeables, a la masa de un volumen igual de agua libre de aire en una temperatura establecida. Por los que se puede observar en los Cuadros 16 y 17, el valor del agregado grueso está dentro de un rango determinado para los suelos sólidos, ya que este se encuentra entre los valores de 2.55 y 2.75. Por otro lado, el peso específico del agregado fino tiene más masa de partículas impermeables o de partículas con menor porosidad, por lo que su valor se acerca a la de un agregado grueso con 2.46.

Por último, para la determinación del porcentaje de absorción se determinó el aumento en la masa en el agregado debido a la absorción en los poros en las partículas del material. En este porcentaje de absorción no se incluye el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, tal y como se hace en el porcentaje de humedad. Los resultados de los porcentajes de absorción de masa de agua se encuentran en los Cuadros 16 y 17.

El porcentaje de absorción para el agregado grueso es de 2.80 %, por lo que se puede decir que este agregado no tendrá un mayor impacto en la absorción de los bloques de concreto. El agregado grueso retendrá la mayor parte del agua en el exterior de las partículas y no en los vacíos o poros de sus partículas de suelo. Por otro lado, el porcentaje de absorción de masa de agua del agregado fino es de 11.56 %, por lo que hará que los bloques de concreto absorban mucha más agua y a su vez pesen más en un estado saturado. Como se observa en el Cuadro 14, el porcentaje de humedad del agregado fino es de 19.76 %, por lo que la mayoría del agua retenido por las partículas están retenidas en los vacíos del del agregado fino.

VII. Elaboración de mezcla de concreto

El diseño de la mezcla de concreto para la fabricación de los bloques de concreto es un paso muy importante y un factor que puede alterar las características mecánicas de la pieza de mampostería. Las proporciones de la mezcla de diseño depende de los agregados tanto gruesos como finos, además se debe de considerar el tipo de cemento y cantidad de agua que se utiliza.

Existen varios métodos para lograr una resistencia a la compresión mínima en un periodo de 28 días, tales como nominal proportion method o maximum density method, las cuales utilizan el tamaño de los agregados para definir la cantidad de agua y cemento en la mezcla. Usualmente los requisitos de diseño de la mezcla suelen estar definidos por cuestiones económicas, demandas estructurales o condiciones de colocación, por lo que la resistencia siempre dependerá también de la demanda asumida por el diseñador.

Los métodos de diseño empleados para los bloques de concreto dependen de factores como: relación agua-cemento, contenido de cemento en la mezcla, graduación de los agregados y la consistencia del concreto o traducibilidad. Por lo que para realizar la fabricación de los bloques de concreto con agregado de plástico triturado se estará empleando el método de módulo de finura, el cual es el más utilizado para bloques de concreto debido a su exactitud en su metodología.

A. Método por módulo de fineza

El método de diseño por módulo de finura, es un método de diseño aproximado que según (Downson, 1981), es el más utilizado dentro de la industria para diseñar mezclas para bloques de concreto. Este método está regido por un número de índice que describe los tamaños relativos de los agregados tanto finos como gruesos. El índice de módulo de finura de los agregados se determina a través de la determinación del porcentaje de suelo retenido mediante el tamizado que se realiza al agregado. Este índice describe como el agregado varía entre suelos, ya que mientras más elevado es el índice, más grande serán los diámetros de las partículas de suelo.

Las mezclas de concreto para bloque de concreto necesitan de por lo menos de un agregado, sin embargo, es normal utilizar hasta cuatro agregados dentro de la misma mezcla. Las razones por la cuales se pueden llegar a utilizar varios suelos dentro de la misma mezcla son debido a que este método no garantiza la resistencia mínima a compresión a veinte ocho días del bloque de concreto, por lo que debe de ajustar las proporciones de la mezcla hasta obtener los resultados deseados.

B. Determinación del módulo de finura

Para la determinación del módulo de finura del agregado a utilizar, se necesita realizar el procedimiento descrito en la ASTM C136, el cual es un análisis granulométrico de los agregados deseados. Para las muestras se necesitó por lo menos quinientos gramos de muestra, las cuales deben de ser acordes con los procedimientos NTG 41007 y ASTM C136.

Las muestras del agregado se introdujeron a una maquina tamizadora que contiene un grupo de tamices de diferentes aberturas de tamaño, ordenadas de forma vertical y están colocadas decrecientes de arriba hacia abajo. Una vez se obtuvieron las cantidades de suelo retenido en cada tamiz, se

determinó el porcentaje de suelo retenido en cada tamiz, con el fin de determinar el porcentaje de suelo acumulado retenido en cada tamiz.

Como se puede observar en los Cuadros 18 y 19, una vez obtenido el porcentaje de suelo acumulado en cada tamiz, se debe de sumar cada uno de los porcentajes de porcentaje de suelo acumulado, sin incluir el fondo. Por último, el resultado de la suma total se debe de dividir por cien para que se obtenga el módulo de finura del agregado.

Cuadro 18
Módulo de finura de agregado grueso

Abertura de malla en tamiz (mm)	# de tamiz (in)	Retenida (g)	%	% Acumulado
9.5	3/8	0	0	0
4.75	4	6.72	1.32	1.32
2.36	8	20.316	39.86	41.18
1.18	16	100.02	19.62	60.80
0.6	30	71.58	14.04	74.84
0.3	50	55.32	10.85	85.70
0.15	100	40.68	7.98	93.68
0.075	200	26.88	5.27	98.95
0	Fondo	5.34	1.05	(100)*
Total		509.7	100	456.47

Fuente: **Propia**

Cuadro 19
Módulo de finura de agregado fino

Abertura de malla en tamiz (mm)	# de tamiz (in)	Retenida (g)	% Retenido	% Acumulado
19	3/4	0	0	0
9.5	3/8	17.93	3.57	3.57
4.75	4	30.35	6.05	9.62
2	10	54.32	10.83	20.45
0.425	40	143.75	28.65	49.10
0.075	200	132.41	26.39	75.48
0	Fondo	123.01	24.52	(100)*
Total		501.76	100	158.22

Fuente: **Propia**

$$FM = \frac{\sum \%Acumulado}{100} \quad (6)$$

Donde:

FM = Módulo de finura

%Acumulado = Suma de porcentajes acumulados de muestra en cada tamiz (sin incluir el fondo)

Cuadro 20
Resultados de módulo de finura de cada agregado

	Módulo de finura (FM)
Agregado grueso	4.56
Agregado fino	1.58
Polipropileno (PP)	3.98
Polietileno (PE)	3.96

Fuente: **Propia**

C. Proporción de los agregados en la mezcla según su módulo de finura (FM)

La proporción de los agregados en la mezcla es de suma importancia para el diseño de un concreto con el cual se puedan fabricar piezas de mampostería que alcancen la resistencia y propiedades deseadas. Al mezclar estos agregados, utilizando el método de módulo de finura, se puede obtener el módulo de finura de la mezcla para la pieza de mampostería.

La industria recomienda una serie de módulos de finura que pueden variar según el peso deseado que se desee en la mezcla, ya que según (Dowson, 1981) estos rangos pueden variar entre 3.70 hasta 3.84. Debido a que estos rangos utilizados son para realizar mezclas aproximadas que luego deben de ajustarse según las pruebas de resistencia a la compresión a los veintiocho días, se escogió un módulo de finura más alto de 4.11

El método de módulo de finura primero determina la cantidad en porcentaje que debe de llevar la mezcla de agregados fino y grueso, debido a que el agregado grueso es el que más aportes de resistencia otorga a la muestra se seleccionó un módulo de finura más elevado para obtener la resistencia deseada a la compresión a los veintiocho días.

Para determinar la proporción de los agregados finos y gruesos se utilizaron las ecuaciones 7 y 8. Esto se realizó por medio de los módulos de finura de los agregados, tanto como fino y grueso, por lo que solo dependerá de la elección del módulo de finura del bloque de concreto seleccionado para obtener el porcentaje de agregado fino en la mezcla.

$$X = \frac{A - B}{A - C} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

X = Porcentaje de agregado fino

A = FM de agregado grueso

B = FM de deseado para la clase de bloque de concreto

C = FM de agregado fino

$$Y = X - 100 \quad (8)$$

Donde:

Y = Porcentaje de agregado grueso

X = Porcentaje de agregado fino

Luego de haber definido el módulo de finura deseado por la proporción de los agregados, como

se muestra en el Cuadro 22, se determinó la proporción de los agregados finos y gruesos a utilizar dentro de la mezcla con la ayuda de las ecuaciones 7 y 8. En el Cuadro 23 se observa la cantidad de agregado (fino, grueso y plástico) que se utilizó en la mezcla de concreto para la elaboración de los bloques huecos de concreto en cada lote elaborado.

Esta proporción se mantendrá a lo largo de las diferentes dosificaciones que se tendrán de plástico en la mezcla, con el fin de siempre mantener un 15 % de agregado fino dentro de la mezcla. Como se mencionó anteriormente, se dosificara 5 %, 10 % y 15 % de plástico (PP y PE) en la mezcla de concreto reemplazando los agregados finos pero siempre manteniendo un balance con 85 % de agregado grueso.

Cuadro 21
Módulo de finura de agregados y mezcla

(FM)	Módulo de finura Descripción	
A	4.56	Agregado grueso
B	4.11	FM deseado
C	1.58	Agregado fino

Fuente: **Propia**

Cuadro 22
Proporciones de agregados en la mezcla de concreto

X	15.23	% de agregado fino
Y	84.77	% de agregado grueso

Fuente: **Propia**

D. Volumen de mezcla deseado

Una vez determinado las proporciones de los agregados en las mezclas, se determinó el volumen de mezcla con la cual se estaría trabajando para empezar con la fabricación de los bloques. Se tuvo disponible con un volumen para la mezcladora de 0.20 metros cúbicos, se determinó que se utilizarían 0.139 metros cubitos para los agregados de la mezcla. El volumen de la mezcladora fue proporcionado por el operario de la maquinaria para que este trabajada con un volumen de mezclado óptimo en el cual se puedan homogeneizar correctamente los materiales.

Por otro lado, la cantidad de cemento se determinó para que los componentes se puedan conglomerar y a su vez se pueda terminar de llegar los vacíos que existen en la mezcla de los agregados. Ya que escoger la cantidad de cemento es esencial para determinar las propiedades de resistencia deseadas del bloque de concreto, se determinó una proporción en relación a la cantidad de agregado según el tipo de agregado que se tenga en la mezcla.

La cantidad de cemento puede ser escogida por medio del tipo de agregado que se tenga, por lo que se recomienda utilizar entre 1:8 y 1:12 (cemento: agregados) para cuando se utilizan arena y gravas en la mezcla, es decir, entre un octavo y un doceavo de la cantidad de la mezcla de agregados. Debido a que este proceso es aproximado y se aconseja aumentar la cantidad de cemento en la mezcla según sea necesario, se escogió 1:13.5. es decir, la treceava y media parte de cemento en proporción de la cantidad de agregado que se tenga en la mezcla.(Darwin & Usha, 2019)

Cuadro 23
Dosificaciones de mezcla de concreto

	Agregado grueso	Agregado fino	Polipropileno (PP)	Polietileno (PE)	
Lote 1	100	0	0	0	Proporciones (%)
	0.139	-	-	-	m ³
Lote 2	85	15	0	0	Proporciones (%)
	0.118	0.021	-	-	m ³
Lote 3	85	10	5	0	Proporciones (%)
	0.118	0.014	0.007	-	m ³
Lote 4	85	5	10	0	Proporciones (%)
	0.118	0.07	0.014	-	m ³
Lote 5	85	0	15	0	Proporciones (%)
	0.118	-	0.021	-	m ³
Lote 6	85	10	0	5	Proporciones (%)
	0.118	0.014	-	0.007	m ³
Lote 7	85	5	0	10	Proporciones (%)
	0.118	0.007	-	0.014	m ³
Lote 8	85	0	0	15	Proporciones (%)
	0.118	-	-	0.021	m ³

Fuente: **Propia**

Por último, la cantidad necesaria de agua en la mezcla para realizar un bloque de concreto de alta calidad varía dependiendo el tipo de agregados, contenido de cemento y apariencia (acabado) final del bloque de concreto. Debido a que se recomienda utilizar una proporción de 1:10, es decir, la décima parte de agua por cada parte de agregados que se tenga en la mezcladora, se utilizó esta medida para el contenido de agua en la mezcla. (Darwin & Usha, 2019)

Dentro del Cuadro 24 se pueden observar las cantidades de cemento y agua utilizados en la mezcla para cada una de los respectivos lotes de bloques de concreto con diferentes dosificaciones a fabricar. Por último, en el Cuadro 23 se pueden observar detalladamente las proporciones de agregados (grueso, fino y plástico (PP y PE)) dentro de la mezcla de concreto para la fabricación de los bloques de concreto de cada lote. Además, se tienen las cantidades exactas de las dosificaciones a la mezcladora de cada agregado que fueron utilizados para cada lote, con el fin de fabricar con la misma cantidad de bloques para todos los lotes.

Cuadro 24
Proporciones de agua y cemento para todos los lotes en función de los agregados

Cemento	Agua	
1:13.5	1:10	Proporciones
0.019	0.014	m ³

Fuente: **Propia**

VIII. Fabricación de los bloques de concreto

Los bloques de concreto elaborados se realizaron a partir de un proceso mecánico, en el cual se emplea una serie de maquinarias de alto rendimiento, por lo que muchos de los procesos dentro de la fabricación ya se encuentran automatizados. Este equipo utilizado varía según su finalidad y pueden ser móviles o estacionarias, las cuales pueden clasificarse en mecánicas o hidráulicas. Además, se utilizaron moldes con bloques tipo DT (Doble tabique central) para la elaboración de los bloques.

La elaboración de los bloques huecos de concreto comienza con una zona de materiales. En esta zona se almacena todos aquellos materiales requeridos para la mezcla como le fue el cemento, agregados (fino, grueso, plástico (PP y PE)) y agua. Esta zona de materiales se encontraba libre de humedad y techado, esto con la finalidad que no erosionen los agregados que se encuentren segregados y proteger el cemento de su proceso de hidratación.

Figura 17. Banco de materiales en zona de materiales de agregado grueso



Fuente: **Propia**

Por otro lado, dentro de la zona de producción se dosificó, elaboró y llevó a cabo el proceso de fraguado y curado los bloques de concreto. Como se mencionó anteriormente, el equipo utilizado es de alto rendimiento por lo que ya se encuentran áreas establecidas para cada uno de los procesos mencionados.

La dosificación de los materiales, como se puede observar en el Cuadro 23 fue de manera volumétrica. Los agregados utilizados fueron primero medidos con medidas con la dosificación establecida y luego vertidas a una mezcladora, sin embargo ya que la dosificación del agua no puede ser exacta por la humedad de los agregados esta se hizo de manera subjetiva. Los agregados mientras más húmedos se encuentren, menos agua se les dosifico, esto por medio de aspersores que son parte de la mezcladora para que se distribuyera el agua de manera homogénea a toda la mezcla.

La cantidad de agua requerida se encuentra establecida en el Cuadro 24. Esta de agua cantidad que debe de dosificarse no debe de exceder la establecida por la mezcla y tampoco una cantidad en la cual la mezcla se vuelva líquida, es decir, se debe de tener una trabajabilidad con una deformación mínima al moldeo, como por ejemplo moldearse con las manos, pero sin perder su forma.

La mezcladora utilizada para el proceso de homogenización de la mezcla fue un equipo mecánico estacionario de acción forzada, con un eje vertical y aspersores de agua en la parte superior. En la

mezcladora se dosificaron primero los agregados (gruesos, finos y plástico), luego el cemento y por último de agua de la manera descrita anteriormente.

Figura 18. Mezcladora



Fuente: **Propia**

Los materiales rotaron dentro de la mezcladora por lo menos cuarenta segundos para asegurar la homogenización de la mezcla. Luego estos fueron transportados por medio de una banda mecánica transportadora hacia una tova, un tanque de almacenamiento que se encuentra encima de la maquina automática (vibradora y vibro compactadora).

Figura 19. Banda transportadora



Fuente: **Propia**

Una vez el material se encuentre en el tanque dispensador, que se encuentra arriba de la maquina automática, empieza el proceso de llenado de la tolva. Esta tolva es la encargada de la dosificación de la mezcla a los moldes que se encuentra abajo de los martillos vibro compactadores. En este proceso se evitó lo más posible la segregación de la mezcla (separación entre los diferentes tamaños de partículas), además de aseguro la constante uniformidad de llenado a los moldes, sin que se quede pegado material en las paredes de la tolva.

El molde utilizado para la fabricación fue metálico, con una capacidad por ciclo de hasta 6 bloques de doble tabique central. En el proceso de llenado de los moldes se aseguró que la cantidad de material era igual, esto para asegurar que la densidad y la compactación de los bloques sea la misma para cada una de ellas.

El material luego debe de ser vibrado por unos segundos para que se pierdan los vacíos o cavidades más grandes que se encuentren dentro del molde. Una vez se completó la vibración por al menos 5, se inicia el proceso de bajado de los martillos compactadores.

Estos martillos cumplen una operación esencial, por lo que se tuvo cuidado con la operación de la máquina y el tiempo de vibración. El tiempo de vibración de los martillos fue de por lo menos

5 segundos para todos los bloques fabricados con el fin de que los bloques alcancen su grado de compactación máximo posible.

La compactación se realizó siempre evitando cualquier tipo de escurrimiento, segregación o rebote de los martillos, esto no solo dañaría el equipo utilizado y los bloques fabricados ya que se pueden formar deformaciones la parte inferior.

Figura 20. Proceso de vibro compactación de los bloques de concreto



Fuente: **Propia**

Una vez terminada la vibro compactación por los martillos compactares, estos mantienen contacto con los bloques de concreto, lo cual permite la extrusión de los mismos del molde utilizado. Estos cayeron de forma uniforme a una velocidad controlada hacia una bandeja de madera, con el fin de no dejar marcas en las paredes de los bloques o malformaciones.

Los bloques fueron removidos de las bandas o guías que se encuentran después de haber realizado el proceso de vibro compactación. Los bloques fueron transportados por medio de una máquina móvil que permite la movilización de las bandejas de madera sin producir movimientos bruscos.

Figura 21. Extrusión de los bloques de concreto



Fuente: **Propia**

La máquina móvil utilizada transporto los bloques fabricados en un área de fraguado y curado, lo cual permitirá el endurecimiento inicial de los bloques. El área de fraguado y curado se encuentra en un lugar en el cual no permite algún factor externo que afecte las propiedades mecánicas del bloque. El lugar se encontraba techado, el cual protegía de los vientos, exceso de agua, lluvias y sol.

El proceso de curado y fraguado tiene como objetivo mantener condiciones óptimas para que se lleven a cabo las reacciones químicas de hidratación del cemento dentro de la mezcla. Se trató de tener más condiciones ideales de ambientes controlados para tener un incremento óptimo en la resistencia, por lo que los bloques fabricados fueron regados con un rociador cada cuatro horas por las primeras doce horas en su periodo de fraguado y así evitar la evaporación excesiva de agua en los bloques.

Figura 22. Bloques apilados en su etapa de fraguado



Fuente: **Propia**

Dentro de los bloques fabricados, todos y cada uno de los lotes con sus respectivas dosificaciones no tuvieron problema en el proceso de dosificación y homogenización dentro de la mezcladora. Sin embargo, los lotes con presencia de plástico (lotes 3,4,5,6,7 y 8), tuvieron una disminución en la dosificación de agua dentro de la mezcla.

Por último los bloques que no cumplieron con el acabado y la apariencia de la norma NTG 41054 h1, fueron removidos del área de curado y se consideraron como muestras de rechazo. Esos bloques fueron rechazados ya que presentaban algún tipo de astillaras, grietas o rajadoras a lo largo o ancho del bloque de concreto. Sin embargo, ninguno de los lotes fabricados presento astilladuras mayores a una pulgada o veinticinco milímetros.

Para los lotes fabricados 1,2,3 y 6 los acabados fueron muy similares, a pesar a que solo el lote 3 y 6 contenían agregado plástico de los mencionados, el comportamiento de acabado, rebabas y zonas con textura gruesa se encontraban en las mismas zonas de manera con una presencia en el bloque muy pequeña.

Por otro lado, los bloques de concreto de los lotes 4, 5, 7 y 8 son los que contenían un 10 % y 15 % en el total de la mezcla de concreto, por lo que el comportamiento de la mezcla debido a la baja absorción de agua de las partículas de plástico y el tamaño homogéneo de los mismos hizo que no se pudieran utilizar los mismos tiempos de vibrado y cantidad de agua en la mezcla.

Como se mencionó anteriormente, el tiempo de vibrado ejercido por los martillos vibro compactadores es de 5 segundos, sin embargo, se utilizaron 7 segundos debido a que en los primeros bloques

fabricados tenían una zona incompleta en una de sus paredes por falta de tiempo de compactación. Esto se debe a que las partículas de plástico utilizadas en la mezcla crearon más vacíos entre los espacios de las partículas conglomeradas de toda la mezcla y debido a que la vibro compactación tiene como propósito eliminar esos vacíos, se ejerció un tiempo mayor de compactación sin excederse al grado en el cual se segregaran las partículas de suelo por la vibración.

Se debe de mencionar que la cantidad de agua en los lotes 4,5,7 y 8 tuvo una disminución, como se mencionó anteriormente, debido a que la dosificación de agua en la mezcla de concreto se hace de manera subjetiva (ya que los agregados no se encuentran totalmente secos) hasta llegar a la cantidad de agua establecida en la mezcla. Para los lotes mencionados originó una rugosidad en la parte inferior y bordes irregulares en los bloques de concreto, ya que las partículas de plástico tienen un porcentaje de absorción casi nula y se generó una cantidad de agua excesiva la cual conllevó la deformación en el borde durante la vibro compactación. Este proceso se repitió hasta llegar a cumplir con los estándares de la NTG 41055 h1.

IX. Determinación de dimensiones, absorción y densidad de bloques huecos de concreto según NTG 41055 h1

Los siguientes métodos de ensayo utilizados, tienen como objetivo determinar la absorción de masa de agua en los bloques de concreto, densidad, las dimensiones finales después de fabricación y la resistencia a la compresión a veintiocho días de fabricación. Por medio de distintos parámetros de estos ensayos, se podrán estudiar las tendencias a través de diferentes muestras, además de la uniformidad de la mezcla en cada uno de los lotes producidos.

El procedimiento de muestreo de los bloques se efectúa de misma manera para cada uno del ensayo, estos cumplieron con la norma NTG 41054 y NTG 41055 h1. Los bloques utilizados, como se mencionó anteriormente, son de tipo DT (Doble tabique central) y estuvieron almacenados por un mínimo tiempo de 72 horas antes de ser ensayados dentro del laboratorio de materiales. Estos estuvieron a una temperatura constante de veinticinco grados Celsius con una humedad relativa del cincuenta por ciento.

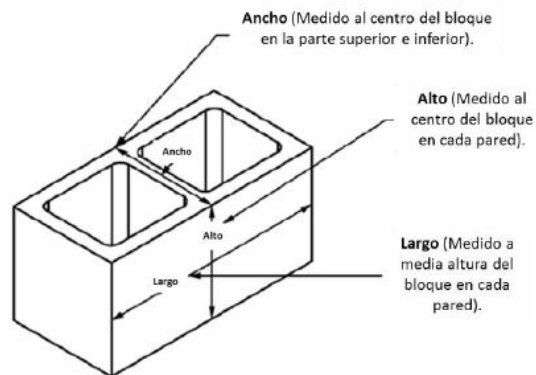
Por último, antes de realizar cada ensayo se aseguró que estos no contaron con ningún tipo de grietas, rajaduras y fisuras superficiales que pueden llegar a alterar los resultados de las pruebas tanto destructivas como no destructivas de las muestras de los bloques huecos de concreto.

A. Dimensiones y medidas principales

Para la determinación de las dimensiones de las medidas principales los bloques de concreto se utilizaron 5 muestras de cada uno de los lotes producidos. A pesar de que se utilizaron los mismos moldes y proceso de producción, estos deben de ser medidos independientemente de la dosificación en la mezcla. Se utilizó una cinta métrica graduada en milímetros y un vernier graduado a cada veinticinco milímetros.

La toma de medición de las medidas principales se realizó con cada uno de los bloques con aproximación de un milímetro, tal y como se indica en la NTG 41055 h1, tomando como referencia la Figura 23.

Figura 23. Toma de medidas principales de los bloques de concreto



Fuente: (COGUANOR-NTG-41055-h1, 2020)

Luego se realizó una medición con un vernier en 2 puntos a lo largo de los espesores de las paredes y de los tabiques centrales, haciéndose en los puntos más delgados de cada elemento y se registraron los datos con el menor valor. En esta medición no se tomaron en cuenta las rebabas, resaltes o relieves que se encontraban presentes en los bloques de concreto.

Por último, se promediaron cada uno de los datos registrados al milímetro más cercano de cada grupo de muestra que se obtuvo de cada lote fabricado. Los datos registrados y promediados fueron tanto de los espesores de las paredes, tabiques centrales y medidas principales de los bloques con el fin de determinar los promedios generales de las medidas principales de los bloques de concretos fabricados.

Cuadro 25
Resumen de medidas principales de los bloques de concreto

	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)
Lote 1	14.0	39.0	19.0
Lote 2	14.0	39.0	19.0
Lote 3	14.0	39.0	19.0
Lote 4	14.0	39.0	19.0
Lote 5	14.0	39.0	19.0
Lote 6	14.0	39.0	19.0
Lote 7	14.0	39.0	19.0
Lote 8	14.0	39.0	19.0

Fuente: **Propia**

1. Discusión de resultados. La determinación de las medidas de los bloques de concreto fabricados fue realizada con los mismos instrumentos de medición, tal y como se mencionó anteriormente, durante el mismo día a todas las muestras utilizadas. Como se observa en el Cuadro 25, no se encuentran variaciones mayores al milímetro más cercano en cada uno de los lotes fabricados, sin embargo, no se puede decir lo mismo en apariencia y acabados.

La textura de los bloques en general no tuvo ninguna diferencia significativa, ya que todos los bloques fabricados se encontraban con paredes uniformes y sin malformaciones en las paredes y bordes. Sin embargo, la apariencia de los bloques fue siendo más significativa mientras más agregado plástico se encontraba en su contenido de mezcla de agregados. El más notorio fue el agregado PE en las paredes de los bloques huecos de concreto, como se muestra en la Figura 6, debido al color distintivo, hizo que se pudiera observar la dispersión de las partículas dentro de la mezcla.

A pesar que este factor de color y apariencia no afecta la resistencia y textura, el agregado hizo que los bloques tengan una apariencia distintiva de los demás bloques de concreto. Por otro lado, el agregado PP debido a su color, como se observa en la Figura 5, fue menos visible la distribución de las partículas en la mezcla y a su vez no generó una apariencia tan distintiva de los demás bloques que no contenían ningún tipo de agregado plástico.

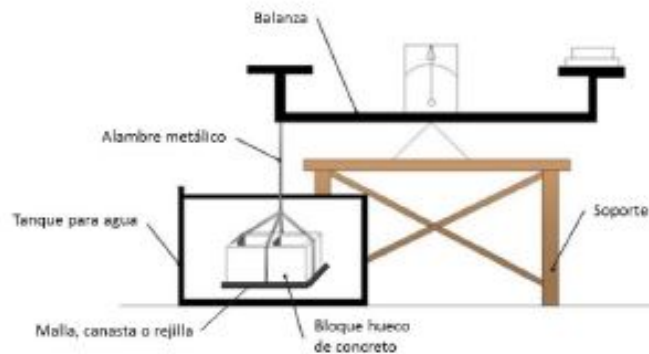
B. Absorción de humedad

La determinación de absorción de humedad en los bloques de concreto se realizó tal y como se especifica en la NTG 41055 h1. Se utilizaron tres muestras por cada lote fabricado, haciendo un

total de veinticuatro bloques y se realizaron los procedimientos con el mismo equipo para evitar alteraciones en los resultados.

Como primer paso para la determinación de la masa de los bloques, estos fueron saturado sumergiendo los bloques a un estaque con agua a una temperatura de veinte grados Celsius por un tiempo de 24 horas. Una vez saturados, por medio de una balanza se determinó la masa suspendida sumergida (M1). Esto se hizo por medio de un cable que está atado a un extremo de la balanza, en el cual el otro extremo se encuentra sujetando el bloque tal y como se muestra en la Figura 24.

Figura 24. Determinación de la masa suspendida sumergida (M1)



Fuente: (NTG 41055 h1)

Luego se removieron los bloques del estanque, estos se dejaron reposar para que drenaran el exceso de agua por un minuto. Una vez pasado el minuto se colocan en una balanza y se registraron estos como a masa saturada de superficie (M2).

Por último, los bloques entran en un proceso de secado, para el cual es necesario un horno industrial de secado ventilado, el cual estuvo regulado a cien grados centígrados por veinticuatro horas. Todos los bloques fueron pesados de manera constante con intervalos de dos horas, después de haber estado por un mínimo de veinticuatro horas, hasta que el peso no tuviese un cambio mayor al 0.2 % del mismo. El peso registrado es llamado masa de los bloques secos al horno (M3).

Figura 25. Horno industrial ventilado



Fuente: Propia

Absorción de agua en porcentaje de masa:

$$A \% = \frac{(M2 - M3)}{M3} \times 100 \quad (9)$$

Donde:

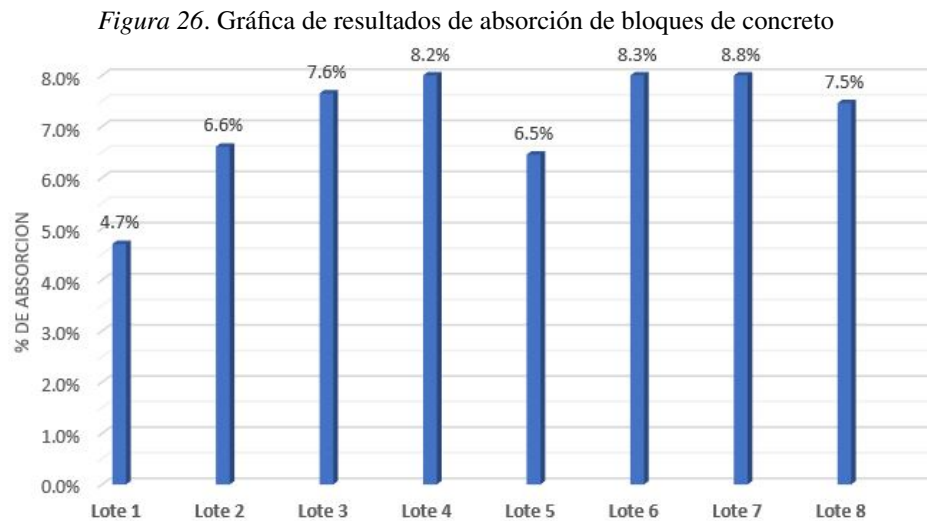
M2 = Masa saturada de superficie seca del bloque en kg.

M3 = Masa seca al horno del boque en kg.

Cuadro 26
Resultados de absorción y desviación estándar de bloques de concreto

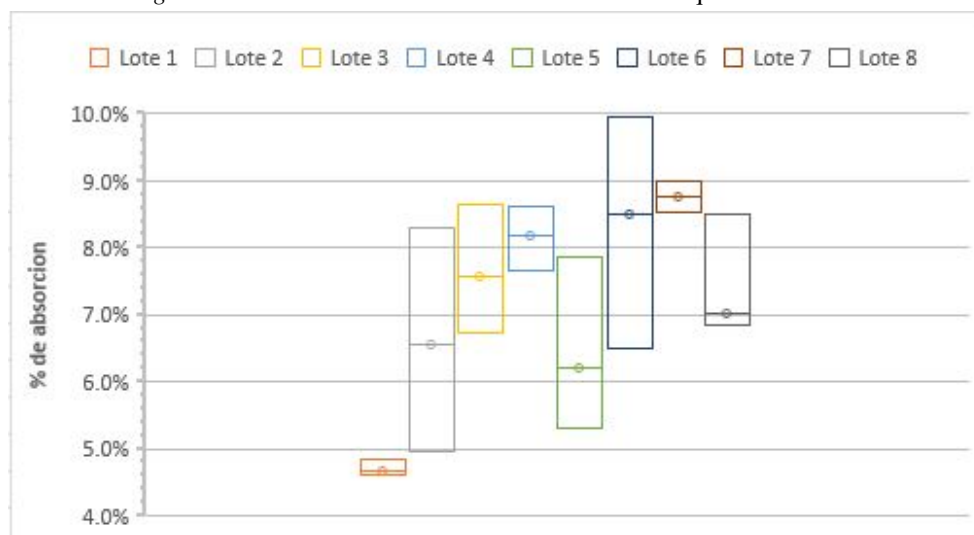
	% Absorción promedio (%)	Desviación Estándar (%)
Lote 1	4.7	0.101
Lote 2	6.6	1.369
Lote 3	7.6	0.784
Lote 4	8.2	0.385
Lote 5	6.5	1.066
Lote 6	8.3	1.418
Lote 7	8.8	0.186
Lote 8	7.5	0.744

Fuente: Propia



Fuente: Propia

Figura 27. Gráfica de resultados de absorción de bloques de concreto



Fuente: Propia

1. Discusión de resultados. La absorción máxima de los bloques sumergidos a 24 horas tiene un límite de absorción para que estos puedan cumplir con la norma NTG 41054, tal y como se observa en el Cuadro 4. Ya que se desea que los bloques fabricados cumplan con los requerimientos de un bloque de concreto clase A, estos deberán tener una absorción menor individual de 11 % y el promedio de las 3 muestras requeridas por lote fabricado deberá ser menor al 10 %.

La absorción máxima de los bloques de concreto tuvo un comportamiento por cada lote fabricado. Como se observa en la Figura 26, todos los bloques fabricados cumplen con las especificaciones de estar por debajo del 10 % promedio que se requiere de las 3 muestras por lote. Además, ninguno de los bloques que se fabricación tuvo una absorción unitaria mayor a 11 %, esto se puede observar en el Cuadro 26, en el cual se puede ver la desviación estándar de cada respectivo lote y apreciar la dispersión del promedio en sus máximos y mínimos respecto de la media.

Para el lote 1 fabricado se obtuvo una absorción de humedad promedio en los bloques de 4.70 %, haciéndolo el de menor absorción de todas las muestras ensayadas. Esto era de esperarse ya que como se muestra en el Cuadro 17, el porcentaje de absorción del agregado grueso es de solo 2.80 % debido a su alto contenido de partículas impermeables. Además, este lote fue el que menor variación tuvo en las muestras ensayadas con solo ± 0.1010 % del promedio. Se puede concluir que debido a que solo se utilizó agregado grueso para la fabricación de este lote, el cual se encontraba bien graduado, este no contaba con muchos poros en su interior que pudieran llenarse de agua cuando los bloques fuesen saturados en agua por 24 horas.

El comportamiento del lote 2, los cuales fueron bloques fabricados con solo agregado grueso y fino (excluyendo al plástico PP y PE), tuvieron una de las menores absorciones de todos los lotes fabricados junto con el lote 5. La absorción que se generó en el lote 2 tuvo una variación de ± 1.369 %, lo que lo hace también el segundo lote con mayor dispersión en sus porcentajes de absorción respecto de la media. Esta variación pudo haber ocurrido debido a que a pesar que la homogenización de la mezcla se hizo correctamente en el proceso de fabricación, la cantidad de partículas de agregado fino dentro de la mezcla no tuvo la misma proporción de partículas permeables en cada uno de los bloques fabricados.

Para los lotes 3, 4 y 5 el comportamiento de la absorción de humedad no fue proporcional conforme a la cantidad de plástico que estos contienen en su mezcla. Como se mencionó anteriormente, los lotes 3, 4 y 5 conforman 5 %, 10 % y 15 % del total de la mezcla de concreto en sus agregados utilizando PP como reemplazante del agregado fino, por lo que se esperaba un comportamiento inversamente proporcional de absorción de humedad en los bloques al incremento de dosificación de plástico a la mezcla.

Esta variación que se da en incremento para los lotes 3 y 4, pudo haber sido generado por la cantidad de poros generados por la mala uniformidad en la cantidad de partículas y distribución de tamaños en los suelos dentro de la mezcla. Sin embargo, tal y como se observa en el Cuadro 26, la dispersión de los datos recopilados de las muestras es $\pm 0.784\%$ y $\pm 0.385\%$ para los lotes 3 y 4 respectivamente. Por lo que se puede concluir que, a pesar que tienen contenidos de humedad mayores a las de los lotes 2, 5 y 8, las mezclas de los lotes 3 y 4 tienen un mejor comportamiento en uniformidad de absorción en los bloques fabricados.

De los bloques fabricados con el agregado plástico PP, el lote 5 fue el que tuvo una menor absorción de humedad en el promedio de los bloques ensayados. Se puede observar que en el Cuadro 26, que a pesar que este fue el lote que tuvo la menor absorción de humedad promedio después del lote 1, la dispersión de los datos recopilados de los ensayos de las muestras unitarios tuvo un $\pm 1.066\%$ respecto de la media. Esta baja absorción en el lote 5 se pudo haber generado debido a que hubo una mejor uniformidad en la mezcla en la composición del tamaño de las partículas de suelo, es decir, existieron menos poros en las paredes de los bloques de concreto, por lo que el agua se absorbió en las partículas permeables de los agregados y de poros existentes.

Los lotes 6, 7 y 8 el porcentaje de absorción de humedad en los bloques tuvo un comportamiento casi inversamente proporcional al incremento de agregado de plástico PE. Esto debido a que la absorción generada en el lote 6 es menor a la del lote 7 por 0.5 %, sin embargo, la dispersión de los resultados de la absorción unitaria de los bloques del lote 6 fueron mucho más amplios que los de los lotes 7 y 8 con $\pm 1.418\%$. Esta variación del lote 6 es la más grande en todos los lotes fabricados y pudo haber ocurrido por variaciones en la cantidad de poros en los bloques a los cuales fueron ensayados.

Los lotes 7 y 8 fueron más altos que el lote 2, el cual no tienen ningún tipo de agregado plástico. Por lo que se puede concluir que a pesar que estos tengan una menor variación en la dispersión de sus resultados de absorción unitaria de los bloques fabricados, estos son más permeables que la mezcla que no contiene ningún tipo de elemento impermeable como lo es el lote 2.

Por último, como se muestra en la Figura 26, los lotes que tienen en su mezcla agregado PP, tienen una menor absorción de agua que los bloques de concreto con agregado PE. Si se comparan los bloques que tengan el mismo porcentaje de dosificación de agregado de plástico, como lo es el lote 3 con el lote 6, lote 4 con el lote 7 y el lote 4 con el lote 8, se podrá observar que las dosificaciones de plástico a pesar que son las mismas, la cantidad de poros que generan los agregados PP son mucho menores que los del agregado PE.

C. Densidad de los bloques

El cálculo para la obtención de la densidad de los bloques fabricados fue realizado por medio de tres muestras por lote fabricado. La ecuación 10 fue la utilizada para determinar la densidad del

bloque, en la cual se utilizan valores determinados en el proceso de obtención de la absorción de masa de agua.

Dentro de la ecuación 10 se utilizan valores de masa suspendida sumergida, masa seca saturada y la masa seca al horno. Todas de las mediciones fueron hechas en kilogramos y se deben de promediar los valores de cada lote, es decir, se determinó la densidad de cada una de las muestras y se luego se promediaron las tres muestras de cada lote para obtener el promedio general y representativo de cada mezcla.

Determinación de la densidad:

$$D \% = \frac{M3}{(M2 - M1)} * 1000 \quad (10)$$

Donde:

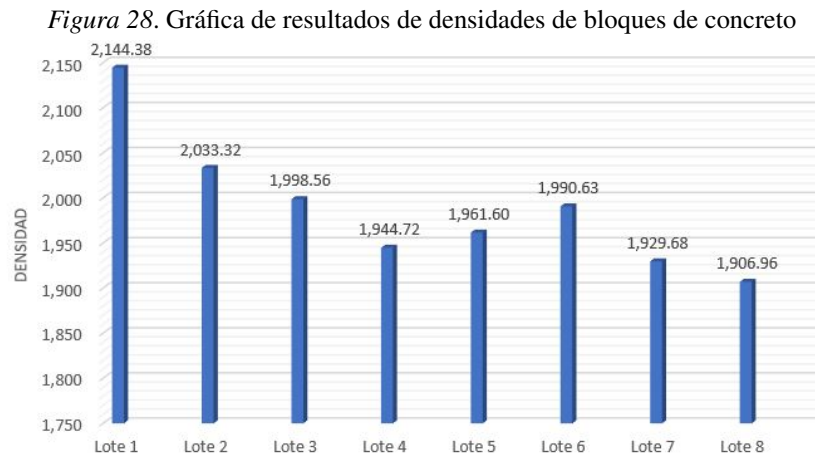
D = densidad de los bloques de concreto en kg/m³.

M1 = Masa suspendida sumergida del bloque en kg.

M2 = Masa saturada de superficie seca del bloque en kg.

M3 = Masa seca al horno del bloque en kg.

1000 = Densidad del agua a 4 C en kg/m³.



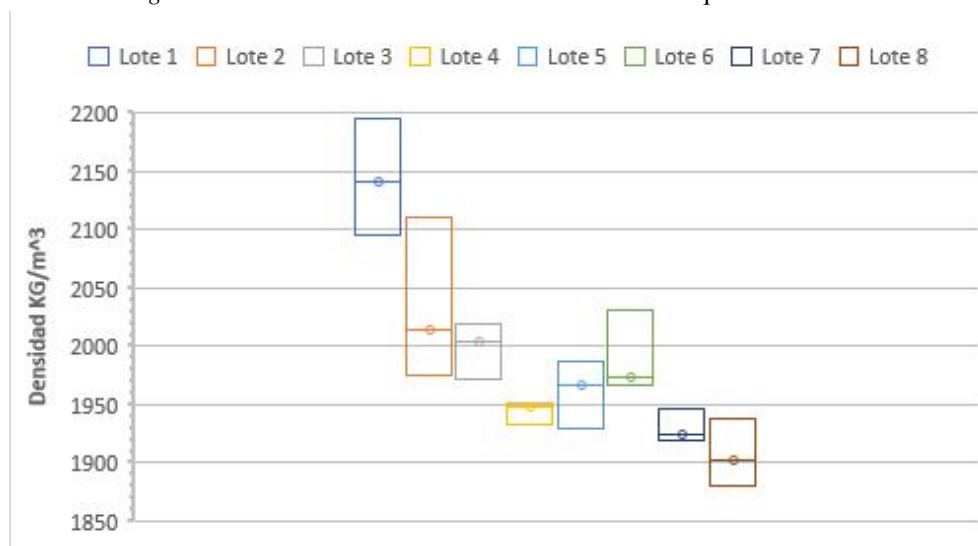
Fuente: **Propia**

Cuadro 27
Resultados de densidades y desviaciones estándar de bloques de concreto

	Densidad promedio (kg/m ³)	Desviación estándar
Lote 1	2,144.38	40.37
Lote 2	2,033.32	57.07
Lote 3	1,998.56	19.62
Lote 4	1,944.72	8.22
Lote 5	1,961.60	23.70
Lote 6	1,990.63	28.68
Lote 7	1,929.68	11.91
Lote 8	1,906.96	23.38

Fuente: **Propia**

Figura 29. Gráfica de resultados de densidades de bloques de concreto



Fuente: Propia

1. Discusión de resultados. La densidad de los bloques fabricados se determinó a través del ensayo conforme al procedimiento en la norma NTG 41055 h1, el cual está descrito anteriormente. Dentro de los ensayos se determinó la clasificación de los bloques según la densidad promedio de las 3 muestras que fueron ensayadas de cada respectivo lote. La descripción de la clasificación de los bloques se puede observar en el Cuadro 5, aquí se determinan por rangos los cuales están divididos en 3, los cuales son: Pesado, medio y liviano.

Para el lote 1, el cual solo contiene material de agregado grueso, en la Figura 28 se pueden observar que la densidad de este lote de bloques de concreto fue el más alto entre todos los demás fabricados. El lote 1 clasifica como categoría "pesado" debido a que su densidad es mayor a 2000 kg/m^3 . Esto es debido a que, dentro de la composición de su mezcla, a pesar que tienen muy buenas propiedades impermeables, estas son demasiado densas, por lo que hace que el bloque de concreto aumente su densidad. Estas partículas permeables rocosas son los responsables de contribuir con parte de la resistencia deseada a los bloques de concreto, sin embargo, el uso excesivo del mismo puede perjudicar en la densidad haciéndolos más pesado.

Luego el lote 2 a pesar de que es más liviano que el lote 1, este también se es categorizado como "pesado" debido a que este supera los 2000 kg/m^3 ya que su densidad es de 33.32 kg/m^3 , tal y como se muestra en la 28. Ya que el lote 2 por tener una composición de agregados finos y gruesos (excluyendo a los agregados plásticos) la densidad en los bloques de concreto es significativamente menor que los del lote 1.

Para los lotes 3, 4 y 5, los cuales fueron fabricados con agregados de plástico PP, debido a su densidad todos fueron categorizados como "medio" que su densidad se encuentra en el rango entre 2000 kg/m^3 y 1680 kg/m^3 . El comportamiento del agregado plástico PP tuvo una influencia en la densidad de los bloques, sin embargo para el lote 3 tuvo una disminución de 34.76 kg/m^3 respecto del lote 2 (el cual no contiene agregados plásticos), mientras que los lotes 4 y 5 tuvieron una disminución de 88.6 kg/m^3 y 72.26 kg/m^3 respectivamente.

El comportamiento del agregado plástico PP en los lotes 3, 4 y 5 no fue inversamente proporcional

en su totalidad. A pesar de que el lote 4 contiene 5 % menos de agregado plástico en su composición de mezcla que el lote 5, la densidad de los bloques no fue como esperada debido a que el lote 4 tuvo una menor densidad que el lote 5. Sin embargo, se puede observar que en el Cuadro 27 la dispersión de los bloques unitarios de las muestras del lote 5 contiene un rango mayor respecto del promedio, por lo que se puede decir que pesar de que el promedio del lote 5 si es mayor que el lote 4, por lo que existen muestras que pueden ser menos densas que los bloques de concreto del lote 4.

Por último, los lotes 6, 7 y 8 los cuales son bloques de concretos fabricados con una dosificación de plástico PE, tuvieron un comportamiento inversamente proporcional al incremento de plástico en su contenido de mezcla. Estos se comportaron de la manera en la cual se esperaba, debido a que están compuestos de partículas de material liviano. Todos los lotes 6, 7 y 8 están clasificados como "medios" debido a su densidad alcanzada. Por un lado, el lote 6, el cual contiene una dosificación de 5 % de agregado PE, es el que mayor densidad tiene entre los lotes fabricados con agregado plástico PE, sin embargo, este es más liviano que el lote 3 (El cual contiene una dosificación de 5 % de plástico PP). Los lotes 7 y 8 fueron los más livianos de todos los lotes de concretos fabricados, por lo que se puede concluir que el material plástico PE hace un cambio significativo en la densidad del bloque de concreto en proporción de la cantidad de plástico que se desee en la mezcla.

X. Ensayo de resistencia a la compresión

A. Determinación del área bruta y área neta

La determinación de las áreas y volúmenes, necesarias para determinar la resistencia a la compresión de los bloques de concretos fabricados, fueron determinados con las ecuaciones de la norma NTG 41055 h1. En estas ecuaciones se utilizaron las medidas principales correspondientes de los bloques obtenidos anteriormente en el Cuadro 25.

Debido a que las medidas principales de cada uno de los lotes fabricados fueron exactamente las mismas cuando estas fueron aproximadas al milímetro más cercano, tal y como se muestra en el Cuadro 25, todas y cada uno de las áreas brutas y volúmenes brutos de los bloques fueron exactamente los mismos. Esto debido a que el proceso de fabricación fue el mismo para cada uno de los lotes, además los acabados finales no influyen en las medidas principales de los bloques de concreto, por lo que utilizar los mismos valores es aceptable.

Determinación del área bruta

$$Ab = L \times W \quad (11)$$

Donde:

Ab = Área bruta en cm².

L = Largo promedio en cm.

W = Ancho promedio en cm.

Volumen bruto: del bloque en cm³.

$$Vb = L \times H \times W \quad (12)$$

Donde:

Vb = Volumen bruto del bloque en cm³

H = Altura promedio del bloque en cm

L = Largo promedio en cm

W = Ancho promedio en cm

Luego se calculó el volumen neto de los bloques, este no incluye ninguna de las medidas principales de los bloques, tal y como se muestra en la ecuación 13. La utilización de la masa saturada con superficie seca y la masa seca al horno son esenciales para la obtención del volumen neto. Estos valores fueron obtenidos anteriormente con el proceso de determinación de absorción de masa de agua en los bloques, por lo que se utilizaron esos mismos valores para la determinar el volumen neto de cada muestra de cada respectivo lote.

Volumen neto del bloque en cm³

$$Vn = (M2 - M1) \times 1000 \quad (13)$$

Donde:

Vn = Volumen neto: del bloque en cm³

D = Densidad en kg/m³

M2 = Masa saturada de superficie seca del bloque en kg.
M1 = Masa suspendida sumergida del bloque en kg
M3 = Masa seca al horno del bloque en kg.

Por último, se encuentra el cálculo del área neta de cada grupo de muestra de cada respectivo lote, esto con el fin de ser utilizado para obtener la resistencia a la compresión de los bloques. Sin embargo, debido a que el área neta se encuentra directamente afectado por el volumen bruto, tal y como se muestra en la ecuación 3, se utilizó el promedio general de los lotes fabricados para el cálculo del área neta.

Este promedio utilizado del volumen bruto se realizó debido a que estos cuando fueron comparados se encontró una mínima variación del 0.05 % para cada lote respecto de la media de todos los bloques fabricados. Por lo que se determinó el utilizar el promedio general del volumen neto de los bloques ya que se utilizaron los mismos equipos de ensayo, medición, moldes y fabricación. El utilizar un volumen neto promediado ayudo a comprender de mejor manera la resistencia a la compresión de los bloques de cada lote, esto debido a que el área neta sobre la que recae la fuerza de la prensa hidráulica seria la misma.

La determinación de área neta de los bloques de concreto se obtuvo por medio de la ecuación 14. En esta se puede observar que debido a que se utilizó un volumen neto promediado, el valor de área neta es el mismo para cada lote fabricado, esto con el fin de ser utilizado para obtener la resistencia a la compresión de los bloques sin que exista una variación en el área neta que afecte directamente a la resistencia.

Área neta promedio del bloque en cm²

$$An = Ab \times \frac{Vn}{Vb} \tag{14}$$

Donde:

An = Área neta promedio del bloque en cm²
Ab = Área bruta promedio del bloque en cm²
Vn = Volumen neto del bloque en cm³
Vb = Volumen bruto del bloque en cm³

Cuadro 28
Determinación de áreas y volúmenes, tanto brutos como netos

Área bruta	546	cm ²
Volumen bruto	10,428.6	cm ³
Volumen Neto	6,962.50	cm ³
Área neta	364.53	cm ²

Fuente: **Propia**

B. Cabeceo de unidades de bloques huecos de concreto para el ensayo de compresión según NTG 41051 h8 y ASTM C1552

El cabeceo de las unidades de los bloques de concreto tiene como fin proporcionar superficies planas en las dos caras de la superficie (superior e inferior). Esto debido a que estas superficies que

serán portantes de la carga producida por una prensa hidráulica para luego determinar el esfuerzo resistente a la compresión. Este ensayo fue realizado conforme a los procedimientos del NTG 41051 h8 y ASTM C 1552.

La mezcla utilizada para el cabeceo de los bloques de concreto contiene es a base de azufre. Esta contiene una cantidad del 60 %, el cual se encuentra mezclado con arcilla cocida y otros materiales inertes. Para la mezcla utilizada para el cabeceo no se añadieron ningún tipo de materiales finos, de rellenos o diluyentes que puedan afectar las propiedades de la mezcla establecida.

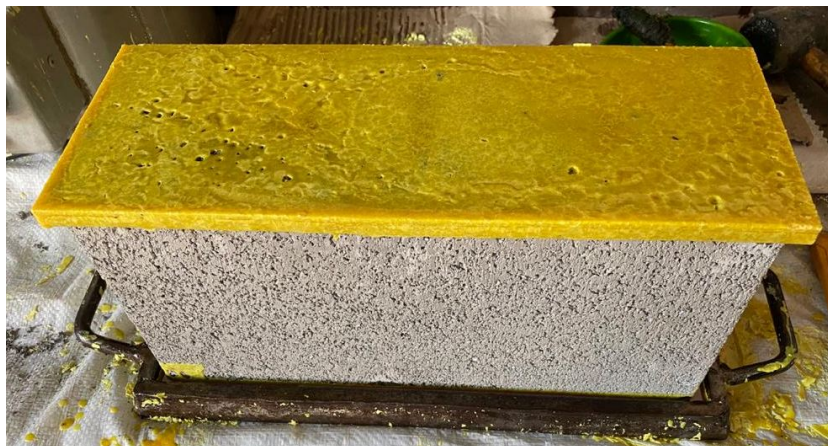
Para la preparación de los especímenes se utilizó una espátula para eliminar todas aquellas protuberancias que existieran en la superficie de los bloques de que se desean cabecear. Luego los bloques estos fueron colocados en una estación de cabeceo, en la cual se calentó la mezcla de azufre en un recipiente que se encontraba a una temperatura arriba de los 100 grados Celsius. Esto con el fin de mantener la fluidez de la mezcla después del contacto con la superficie de concreto que se cabeceara.

El molde que se utilizó para el cabeceo de los bloques de concreto era de acero. La placa de acero era suficientemente rígida para que no se deflactará durante el cabeceo ya contaba con más de 1 pulgada de espesor. Durante el cabeceo la placa de acero se encontraba lo suficientemente caliente como disminuir la velocidad de endurecimiento del azufre fundido. La placa se recubrió ligeramente con aceite en su interior para que luego que el azufre endureciera fuera más fácil la extracción de los especímenes.

Una vez se aceito la placa de acero para el cabeceo, se colocó la superficie del concreto y luego se vertió una cantidad de azufre en las orillas de tal manera que se tenga una profundidad de por lo menos 1/4 de pulgada. El bloque de concreto no se movió hasta que el compuesto de azufre se solidificó y enfrió.

Una vez retirado el bloque de concreto cabeceado con la mezcla de azufre deben de ser almacenados por al menos un tiempo de dos horas antes de ser ensayados a compresión. De no esperar el tiempo suficiente de solidificación tendría grandes repercusiones con los resultados de resistencia ya que la fuerza no estaría distribuida de la misma manera sobre la superficie neta en la que recae la fuerza producida por la prensa hidráulica.

Figura 30. Cabeceo de muestra de bloque de concreto



Fuente: Propia

C. Determinación de la resistencia a la compresión según NTG 41054 y NTG 41051 h2

La determinación de la resistencia a la compresión de los bloques de concreto se realizó según los procedimientos de ensayo de las normas NTG 41055 h1 y NTG 41051 h2, en la cual indica el equipo necesario y procedimiento se debe realizar. Dentro del equipo utilizado se tiene una máquina de ensayos con una exactitud de menos del 1 % de la carga, una platina de acero que está sujeto al cabezal superior de la máquina y un par de placas de acero que servirán como apoyo superior e inferior cuando se coloquen los bloques.

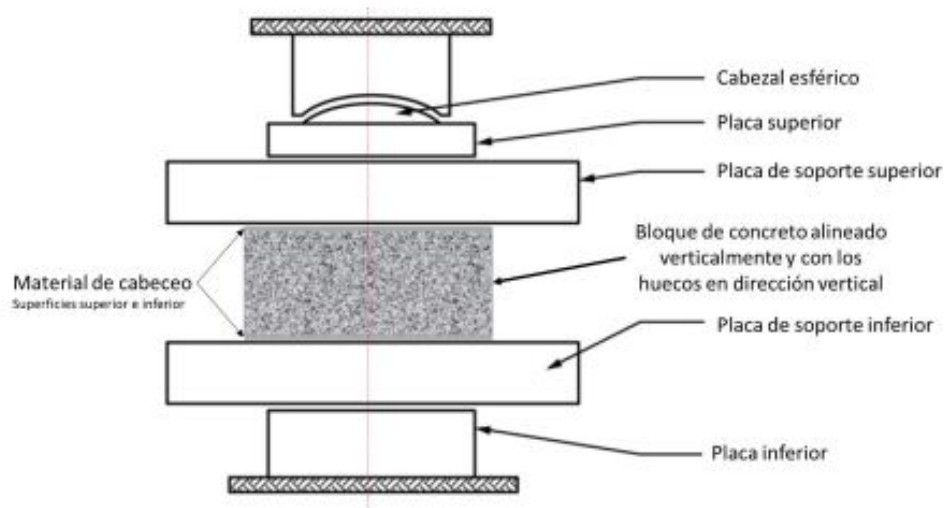
Para la colocación del bloque de concreto en la máquina de ensayo se limpiaron las caras de apoyo de las platinas, las placas de apoyo y el espécimen de ensayo. Luego se colocó los bloques de concreto sobre la placa de apoyo inferior. Se alinearon los dos ejes centroidales del espécimen con el centro del empuje de la máquina de ensayo.

Al llevar la platina superior con apoyo esférico o la placa de apoyo a contacto con el espécimen, se roto la porción móvil de la platina superior con la mano para asegurar un asiento uniforme. El bloque de concreto se colocó tal y como se muestra en la Figura 31.

La aplicación de la carga se hizo con la carga inicial al prisma hasta un cuarto de la carga esperada, a una velocidad constante de 5KN/seg. Se aplicó la carga restante a una velocidad uniforme en no menos de 2 min. Al momento de que se llegaba a la carga máxima del bloque y no se podía determinar el modo de falla, se continuó cargando el espécimen hasta que su forma de falla fue identificable. Por último, se anotó la carga máxima aplicada y el modo de falla.

La resistencia de cada bloque de concreto se calculó dividiendo la máxima resistencia de compresión por el área seccional neta del cada bloque, tal y como se muestra en la ecuación 15.

Figura 31. Colocación del bloque de concreto en la máquina de ensayo



Fuente: Propia

Resistencia a la compresión con respecto al área neta

$$Rn = \frac{F}{An} \quad (15)$$

Donde:

Rn = Resistencia a la compresión, expresada en N/mm² con respecto a la superficie neta

F = Carga máxima a la rotura, en Newtons (Libras)

An = Área neta, en milímetros cuadrados (pulg²)

1. Discusión de resultados. La determinación de la resistencia de los bloques de concretos se hizo con los procedimientos de ensayo de la norma NTG 41054 y NTG 41051 h2, los cuales se encuentran descritos anteriormente. Los ensayos se realizaron con una cantidad de muestra mínima de 5 muestras por cada lote fabricado y se cumplieron con todos los requerimientos de la norma NTG 41054 ante de realizar los ensayos destructivos para la determinación de la resistencia a la compresión de los bloques de concreto.

A pesar de que la norma NTG 41054 indica que la resistencia compresión mínima debe de ser a 28 días, los bloques de concreto fueron ensayados a 7, 14, 21 y 28 días para cada uno de los lotes fabricados. Se realizan ensayos a un mínimo de 2 muestras por lote para la cantidad de 7, 14 y 21 días después de su fabricación para determinar el comportamiento de fraguado y aumento en resistencia a compresión de cada bloque de concreto.

Como se mencionó anteriormente la norma NTG 41054 especifica la resistencia mínima a compresión para que estos puedan ser categorizados como bloques de concreto clase A. En el Cuadro 3 se pueden observar cómo deben de clasificarse los bloques de concreto según la resistencia a compresión alcanzada a 28 días después de su fabricaciones, estos deberán cumplir con por lo menos 133.3 Kg/cm² en el promedio de un mínimo de 5 muestras por lote fabricado y un mínimo de 113.0 Kg/cm² de resistencia a la compresión de cada ensayo de prueba unitaria de cada bloques de concreto.

Los bloques fabricados del lote 1, los cuales tienen solo agregado grueso en su mezcla de concreto, tuvo una resistencia inicial a siete días de su fabricación de 90.82 Kg/cm². Tal y como se observa en el Cuadro 31, el aumento en la resistencia de los bloques fue de 22.2 % cuando se volvieron a ensayar de 14 a 21 días después de su fabricación. Este aumento en resistencia es el más grande que hubo dentro de todos los lotes ensayados, sin embargo este aumento disminuyo ya que solo hubo un aumento de 1.3 % en su resistencia de los 21 días a 28 días después de su fabricación.

La resistencia a los 28 días del lote 1 fue de 119.80 Kg/cm² con una variación de 1.3 Kg/cm² respecto de la media, esto hace que el lote 1 será el menos variante en resistencia de los lotes fabricados. Por otro lado, a pesar de que la resistencia a la compresión unitaria de los bloques sobrepasa los 113.0 Kg/cm² que requiere la NTG 41054, no pueden ser clasificados como categoría A debido a que el promedio de las muestras so supera los 133.3Kg/cm². Por los bloques de concreto del lote 1 son clasificados como clase B debido a que falta de resistencia promedio.

Los bloques de concreto del lote 2, fabricados con agregado grueso y fino (excluyendo en su totalidad el plástico PP y PE en su mezcla), tuvo el mejor resultado de resistencia entre todos los lotes fabricados. El comportamiento en aumento de resistencia, como se observa en la Figura 2, no tuvo la resistencia inicial más alta, sin embargo el aumento en la resistencia fue de manera lineal hasta alcanzar una resistencia de 129.29 Kg/cm². El aumento en resistencia más alto fue de

17.7 %, alcanzado durante los días 7 a 14 lo cual es el segundo más alto después del lote 6 en este rango de días. Al igual que el lote 1, la resistencia unitaria de los bloques de concreto es mayores que los requeridos por la NTG 41054 mencionados anteriormente, sin embargo la resistencia a la compresión promedio no fue suficiente, por lo que son clasificados como bloques de concreto clase B.

Para los lotes 3, 4 y 5 los cuales fueron bloques de concreto con agregado de PP en su contenido de mezcla, no tuvieron un comportamiento inversamente proporcional en su resistencia al incremento de dosificación de plástico en el contenido de mezcla de concreto. De los lotes mencionados, el lote 4 es el que tuvo el menor aumento en su resistencia a lo largo de los 28 días después de haberse fabricado, además estos obtuvieron la menor resistencia a la compresión de los lotes 3,4 y 5 por lo que a pesar que su dosificación fue de 10 %, este no es adecuado en cuanto a resistencia, ya que debido a su resistencia unitaria en los bloques y promedio este es clasificado como bloques de concreto clase B.

El lote 3 el cual contiene una dosificación de 5 % de agregado plástico PP en su mezcla de concreto, obtuvo una resistencia a la compresión los 28 días de fabricación de 116.66 Kg/cm². A pesar que esta resistencia a la compresión promedio no es suficiente para clasificar el lote como clase A, la resistencia unitaria de los bloques si cumplió con la resistencia mínima. El lote 3, tal y como se observa en la Figura 33, tuvo una de las mayores dispersiones en los resultados de las resistencias a compresión, el cual pudo haber ocurrido debido a el ajuste de las partículas de suelo cuando son sometidas a un esfuerzo axial.

El comportamiento del lote 5 fue el que tuvo una mejor resistencia a la compresión y aumento en resistencia a través de los días después de su fabricación. A pesar de que la dosificación del plástico PP fue la más alta en el lote 5, con 15 % en su mezcla de concreto, este supero a los lotes todos los lotes con contenido de agregado plástico PE y PP. Como se observa en el Cuadro 29, la resistencia a la compresión a 28 días fue de 124.61 Kg/cm² y a pesar que supera lo necesario para cumplir con la resistencia a la compresión promedio para ser categorizado como clase A, los bloques cumplieron con la resistencia unitaria a la compresión. El comportamiento del lote 5 hizo que tuviera el mejor comportamiento mecánico entre los lotes con dosificación de plástico, ya que la resistencia a los 28 días después de su fabricación fue la mayor entre todas.

Para los lotes 6, 7 y 8 los cuales tienen una dosificación de plástico PE de 5 %, 10 % y 15 % respectivamente, tuvieron un comportamiento inversamente proporcional al incremento de plástico en su contenido de mezcla a los 28 días después de fabricarse. El lote 6 fue el que mayor resistencia obtuvo después de 28 días de haberse fabricado y además tuvo un incremento de 18 % en su resistencia en sus días 7 al 14 después de su fabricación, haciéndolo el lote con mayor aumento de resistencia en ese rango de días. La resistencia final del lote 6, tal y como se muestra en el Cuadro 29, fue de 113.14 Kg/cm². Esta resistencia a la compresión promedio obtenida a los 28 días después de su fabricación hacer que el lote 6, al igual que los lotes 7 y 8, en una clasificación de bloques de concreto clase B.

El aumento en la resistencia del lote 7, como se observa en el Cuadro 31, fue lo que ayudo a que alcanzara una resistencia a 28 días de 105.33 Kg/cm². Sin embargo, este obtuvo la resistencia inicial más baja de todo los lote fabricados, por lo que su etapa de fraguado es esencial en esta dosificación para pueda alcanzar la resistencia a compresión deseada. Por otro lado, el lote 8 tuvo un incremento en su resistencia inicial a la compresión de solo 4.1 % hasta los 28 días de su fabricación, esto hace el bloque de concreto con una dosificación de 15 % de plástico en su contenido de mezcla no dependa

del aumento de resistencia a la compresión debido a su proceso de fraguado, sino este dependerá de la resistencia inicial alcanzada debido a que su aumento en resistencia a la compresión a través del tiempo fue la menor entre todos los lotes fabricados.

Por último, la falla de todos los lotes fabricados, independientemente de su contenido de mezcla en el concreto, los bloques huecos de concreto tuvieron fallas por fracturas cónicas o una falla debido a la separación de las paredes externas longitudinales. Estas fallas ocurrieron en cada uno de los lotes debido a la geometría de los bloques huecos de concreto, por lo que la composición de materiales en la mezcla del concreto no afectó el comportamiento ante un esfuerzo a compresión en el prisma.

Cuadro 29
Resultados de ensayos de resistencia a la compresión de los bloques de concreto

	Kg/cm ²			
Lote 1	90.82	91.94	118.19	119.80
Lote 2	85.19	103.55	114.65	129.29
Lote 3	88.96	99.53	104.74	116.66
Lote 4	93.62	93.67	100.77	108.58
Lote 5	97.05	97.59	108.33	124.61
Lote 6	85.55	104.68	109.60	113.14
Lote 7	84.09	88.30	99.02	105.33
Lote 8	98.56	99.13	99.34	102.71
Días después de fabricación	7	14	21	28

Fuente: **Propia**

Cuadro 30
Desviación estándar de resultados de resistencia a la compresión de los bloques de concreto

	Desviación estándar Kg/cm ²			
Lote 1	3.16	6.52	0.55	12.29
Lote 2	6.87	11.86	2.41	13.39
Lote 3	2.17	1.89	3.79	8.75
Lote 4	1.11	5.73	1.03	12.33
Lote 5	2.45	1.96	1.73	9.93
Lote 6	0.46	11.82	13.16	7.85
Lote 7	14.22	18.99	9.51	9.19
Lote 8	2.06	0.75	3.73	5.16
Días después de fabricación	7	14	21	28

Fuente: **Propia**

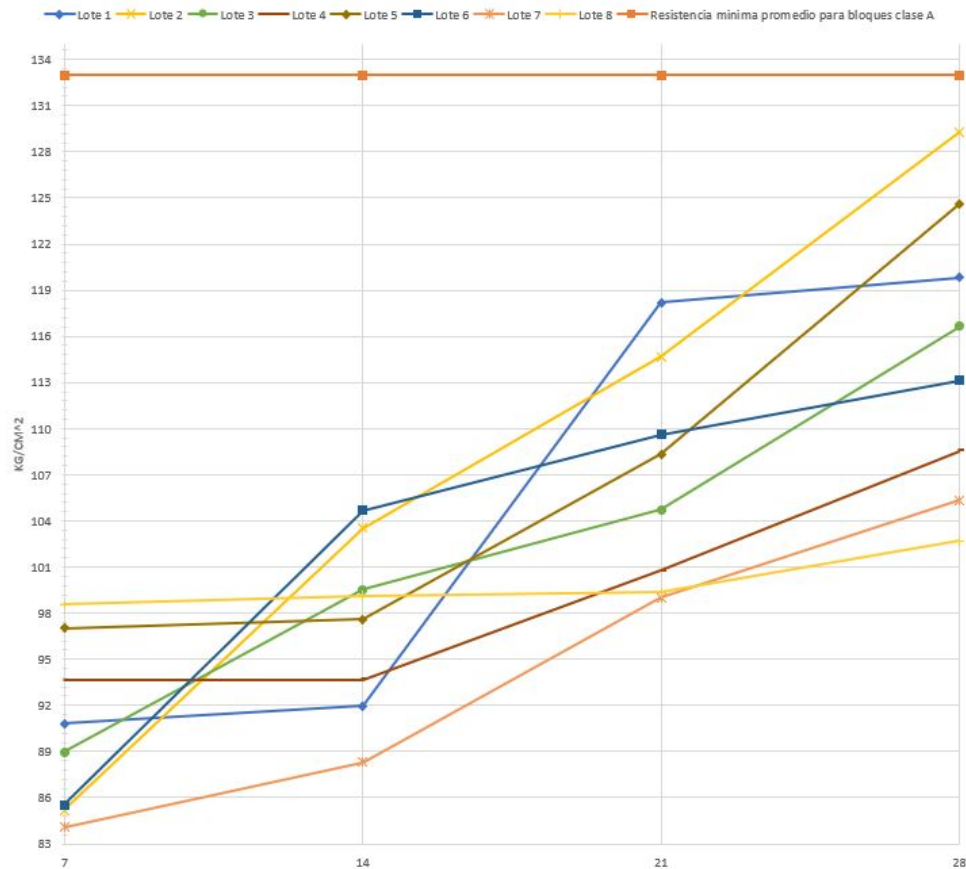
Cuadro 31

Aumento de resistencia a la compresión en los bloques de concreto según rango de días después de su fabricación

	Aumento en resistencia a la compresión		
	7 a 14	14 a 21	21 a 28
Lote 1	1.2	22.2	1.3
Lote 2	17.7	9.7	11.3
Lote 3	10.6	5.0	10.2
Lote 4	0.1	7.0	7.2
Lote 5	0.6	9.9	13.1
Lote 6	18.3	4.5	3.1
Lote 7	4.8	10.8	6.0
Lote 8	0.6	0.2	3.3
Rango de días después de fabricación	7 a 14	14 a 21	21 a 28

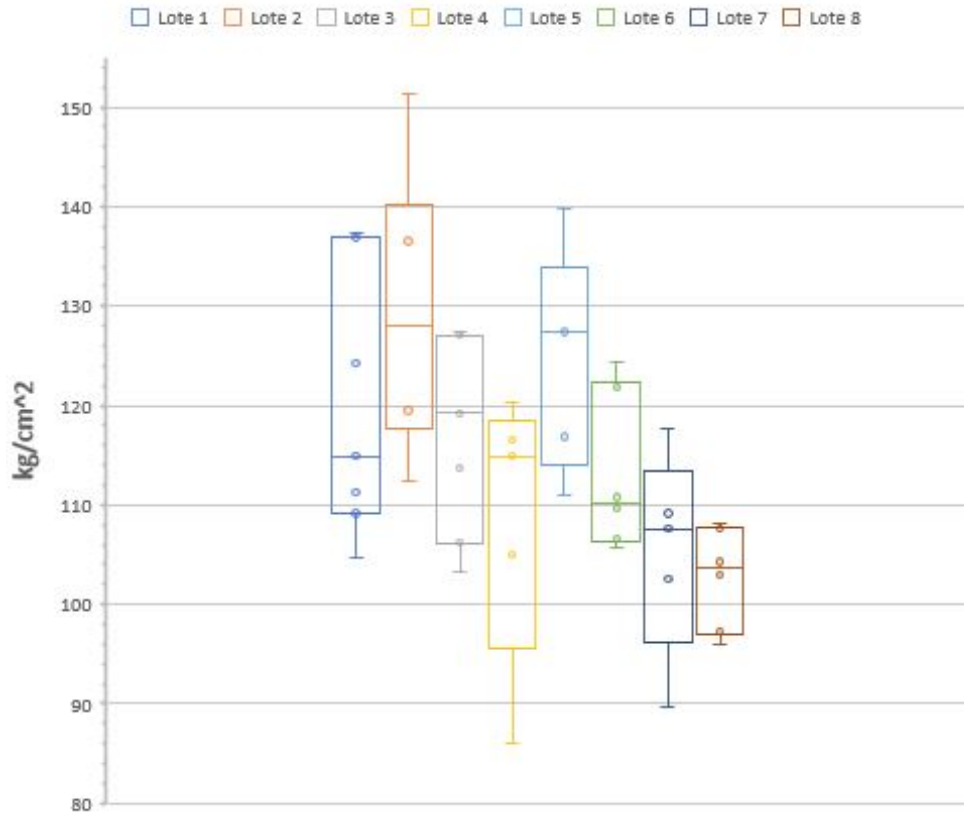
Fuente: Propia

Figura 32. Gráfica de resultados de resistencia a la compresión de 7, 14, 21 y 28 días después de su fabricación



Fuente: Propia

Figura 33. Resultados de resistencia a la compresión a 28 días de su fabricación



Fuente: Propia

XI. CONCLUSIONES

- Se logró generar una pieza de mampostería con agregados de plástico triturado utilizando polipropileno de alta densidad y polietileno de alta densidad en un bloque hueco de concreto que se adapta a las necesidades actuales del mercado de la construcción, pudiéndose utilizar en la construcción de mampostería de pequeña y gran escala.
- Se logró utilizar agregados de plástico triturados de origen reciclados en la mezcla de concreto para los bloques huecos de concreto, por lo que la utilización de cualquiera de los lotes con dosificación de plástico triturado de polipropileno de alta densidad o polietileno de alta densidad estaría contribuyendo a la mitigación del daño debido a los residuos plásticos que forman parte de la contaminación dentro del territorio de Guatemala.
- Se desarrolló una pieza de mampostería que al utilizar agregados de plástico triturado de polietileno de alta densidad o polietileno de alta densidad en la mezcla de concreto presento una menor densidad (masa unitaria) y una menor absorción de humedad, pero que no pudo mantener sus propiedades mecánicas de la misma manera que los lotes sin agregados de plástico triturado en su mezcla de concreto.

XII. RECOMENDACIONES

- Para las futuras elaboraciones de la mezcla de concreto con agregados de plástico triturado para las piezas de mampostería, se recomienda utilizar un agregado plástico con un menor módulo de finura, con el fin de tener una menor cantidad de poros en las paredes de los bloques de concreto y tener un beneficio en la absorción de humedad y en la resistencia a la compresión a 28 después de su fecha de fabricación.
- Para la continuación sobre el estudio de los agregados plásticos en la mezcla de concreto para los bloques huecos de concreto, se recomienda la utilización una dosificación mayor a la propuesta, además realizar una mezcla de concreto en la cual se utilicen por lo menos 2 tipos distintos de plástico para aprovechar las características mecánicas y físicas
- Sobre de los características y comportamientos variados que se pueden llegar a tener sobre la dosificaron del plástico como agregado en la mezcla de concreto, se recomienda realizar ensayos que determinen las características y comportamientos térmicos y acústicos que los bloques huecos de concreto al utilizar polipropileno de alta densidad y polietileno de alta densidad en la mezcla.
- Para futuras fabricaciones de bloques de concreto fabricado con agregado plástico triturado, se recomienda fabricar piezas de mampostería que no solo sean de tipo DT (doble tabique central), si también de un tipo UT (un tabique central) para determinar el comportamiento de la mezcla ante la variación a la geometría de los prismas ante esfuerzos de compresión.

XIII. BIBLIOGRAFÍA

- Almeshal, I., Tayeh, B. A., Alyousef, R., Alabduljabbar, H. & Mohamed, A. M. (2020). *Eco-friendly concrete containing recycled plastic as partial replacement for sand. Journal of Materials Research and Technology*, (20). <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.090>
- Arrieta, J. (2010). *Fabricación de bloques de concreto. Universidad Nacional de Ingeniería*, (94), 67. <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/proy8.pdf>
- Beall, B. C. (1994). *Masonry buildings and environmental concerns*.
- Choque Ruelas, Godofredo Edgar & Huaman Meza, J. (2009). *Adobes comprimidos suelo cemento, una alternativa ecológica*. (1), 3.
- COGUANOR-41054. (2020). *Bloques huecos de concreto para muros. Especificaciones*.
- COGUANOR-41070. (2020). *Aditivos químicos para concreto. Especificaciones*.
- COGUANOR-NTG-41007. (2020). *Agregados para Concreto. Especificaciones*.
- COGUANOR-NTG-41051-h2. (2020). *Método de Ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de prismas de mampostería*.
- COGUANOR-NTG-41055-h1. (2020). *Métodos de ensayo. Determinación de las dimensiones, absorción, densidad y resistencia a la compresión de bloques huecos de concreto*.
- COGUANOR-NTG-41063. (2020). *Agregados livianos para la fabricación de unidades de mampostería de concreto. Especificaciones*.
- Darwin, R. & Usha, S. (2019). *Investigation on Mechanical Behaviour of Plastic Waste (Ldpe) Impregnated Concrete. International Journal of Recent Trends in Engineering & Research*, 5(Special Issue 1), 1-9. <https://doi.org/10.23883/ijrter.conf.20190322.001.qrd4r>
- Dowson, A. J. (1981). *Mix Design for Concrete Block. Precast concrete*, 12(2), 2-5.
- Hisham A. Maddah. (2016). *Polypropylene as a Promising Plastic: A Review. American Journal of Polymer Science*, (January). <https://doi.org/10.5923/j.ajps.20160601.01>
- Jaivignesh, B. & Sofi, A. (2017). *Study on mechanical properties of concrete using plastic waste as an aggregate. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 80(1), 012016.
- Lopez, Roura, J. (1989). *Materiales plásticos. Revista española de endodoncia /AEDE*, 7(2), 67-69.
- Páez Moreno, D. F., Parra Rojas, S. X. & Montaña Gutiérrez, C. A. (2009). *Structural alternative of horizontal reinforcement in masonry walls. Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(14), 51-69.
- Rai, B., Rushad, S. T., Kr, B. & Duggal, S. K. (2012). *Study of Waste Plastic Mix Concrete with Plasticizer. ISRN Civil Engineering, 2012*, 1-5. <https://doi.org/10.5402/2012/469272>
- Safi, B., Saidi, M., Aboutaleb, D. & Maallem, M. (2013). *The use of plastic waste as fine aggregate in the self-compacting mortars: Effect on physical and mechanical properties. Construction and Building Materials*, 43(June 2019), 436-442. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.049>
- Shubhra, Q. T., Alam, A. K. & Quaiyyum, M. A. (2013). *Mechanical properties of polypropylene composites: A review. Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 26(3), 362-391. <https://doi.org/10.1177/0892705711428659>
- Thorneycroft, J., Orr, J., Savoikar, P. & Ball, R. J. (2018). *Performance of structural concrete with recycled plastic waste as a partial replacement for sand. Construction and Building Materials*, 161, 63-69. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.127>

- Vasconcelos, D. & Sánchez, T. (1999). *Edificaciones de mampostería para vivienda. Edificaciones de mampostería para vivienda*, 578.
- Villafuerte Quispe, M. M. (2015). *PLAN DE NEGOCIOS PARA LA FABRICACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS EN LIMA METROPOLITANA*.
- Zhong, X., Zhao, X., Qian, Y. & Zou, Y. (2018). *Polyethylene plastic production process. Insight - Material Science*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.18282/ims.v1i1.104>

XIV. APÉNDICES

Figura 34. Verificación de humedad en mezcla de concreto dentro de mezcladora en el proceso de fabricación de los bloques de concreto



Fuente: **Propia**

Figura 35. Transporte de muestras de bloques de concreto después de proceso de fabricación



Fuente: **Propia**

Figura 36. Cabeceo de las muestra de concreto antes de ensayo de resistencia a la compresión



Fuente: **Propia**

Figura 37. Falla por separación de pared externa de unidad según NTG 41051 h2



Fuente: **Propia**

Figura 38. Falla por fractura cónica según NTG 41051 h2



Fuente: **Propia**

Figura 39. Distribución de las partículas de plástico de polietileno (PE) en la mezcla de concreto



Fuente: **Propia**

Figura 40. Distribución de las partículas de plástico de polipropileno (PP) en la mezcla de concreto



Fuente: Propia

Figura 41. Densidades y porcentajes de humedad unitarios

	M1 (kg)	M2 (kg)	M3 (kg)	% Absorción	Densidad kg/m ³
Lote 1	9.01	15.93	15.19	4.8%	2195.09
	8.68	15.66	14.96	4.7%	2141.73
	8.42	15.48	14.80	4.6%	2096.32
Lote 2	8.66	15.79	15.04	5.0%	2110.88
	8.02	15.27	14.33	6.6%	1975.19
	8.09	14.93	13.79	8.3%	2013.88
Lote 3	8.12	15.15	14.20	6.7%	2019.20
	8.08	15.06	14.00	7.6%	2004.29
	8.01	15.02	13.83	8.6%	1972.18
Lote 4	7.65	14.56	13.46	8.2%	1948.59
	7.62	14.54	13.50	7.7%	1952.28
	7.83	14.95	13.77	8.6%	1933.29
Lote 5	7.45	14.26	13.54	5.3%	1987.23
	7.44	14.26	13.43	6.2%	1967.47
	7.66	14.74	13.67	7.9%	1930.08
Lote 6	8.20	15.21	13.83	9.9%	1974.30
	8.08	15.02	14.11	6.5%	2030.96
	7.99	15.04	13.86	8.5%	1966.64
Lote 7	7.67	14.56	13.41	8.5%	1946.30
	7.48	14.30	13.12	9.0%	1923.75
	7.25	13.91	12.79	8.8%	1918.98
Lote 8	7.33	14.17	13.26	6.8%	1937.47
	7.42	14.39	13.26	8.5%	1902.73
	7.13	14.17	13.24	7.0%	1880.68

Fuente: Propia

Figura 42. Resistencia a la compresión unitarios de los bloques de concreto a 7, 14, 21 y 28 días

	Kg/cm²			
Lote 1	93.98	98.46	117.65	136.94
	87.66	85.42	118.74	104.78
	-	-	-	111.27
	-	-	-	109.14
	-	-	-	124.22
	-	-	-	114.90
	-	-	-	137.37
Lote 2	78.32	115.41	117.06	119.50
	92.05	91.69	112.25	112.31
	-	-	-	151.42
	-	-	-	119.46
	-	-	-	136.57
	-	-	-	136.50
Lote 3	86.79	97.65	108.53	119.69
	91.13	101.42	100.95	127.05
	-	-	-	127.38
	-	-	-	119.23
	-	-	-	106.21
	-	-	-	113.77
	-	-	-	103.25
Lote 4	90.05	87.94	99.72	104.98
	97.19	99.41	101.81	120.39
	-	-	-	86.11
	-	-	-	114.90
	-	-	-	116.50
Lote 5	94.60	95.63	110.07	116.87
	99.49	99.55	106.60	128.02
	-	-	-	111.04
	-	-	-	139.77
	-	-	-	127.38
Lote 6	86.01	116.50	96.44	109.62
	85.09	92.86	122.76	105.79
	-	-	-	121.81
	-	-	-	106.57
	-	-	-	124.28
Lote 7	69.87	107.30	108.53	107.63
	98.32	69.31	89.51	117.59
	-	-	-	109.17
	-	-	-	89.70
	-	-	-	102.54
Lote 8	100.61	99.88	103.07	95.88
	96.50	98.37	95.60	108.22
	-	-	-	97.28
	-	-	-	104.28
	-	-	-	107.63
			102.99	
Dias despues de fabricacion	7	14	21	28

Fuente: Propia

XV. Glosario

AGIES: Asocioacion Guatemalteca de Ingenieria Estructural y Sismica. 6

ASTM: American Society for Testing and Materials. 6

Bloque hueco de concreto: Es un elemento simple, hecho de concreto, en forma de prisma, con uno o más huecos transversales en su interior, de manera que: El área neta del elemento sea de un 50 % a un 75 % del área bruta del elemento. 11

COGUANOR: Comisión Guatemalteca de Normas. 6

Concreto: Material compuesto de un medio conglomerante dentro del cual están embebidas las partículas o fragmentos del agregado con cemento hidráulico y agua. 6

Densidad: Masa por cada unidad de volumen, usualmente conocida como peso unitario. 10

Fibra: Filamentos delgados de materiales naturales o manufacturados distribuidos uniformemente en forma de tiras aisladas. 9

Fraguado: El proceso debido a reacciones químicas, que ocurre después de hidratar el cemento hidráulico y que produce un gradual desarrollo de rigidez de una mezcla con contenido de cemento. 7

Medida real: Es la que se obtiene al medir el bloque sin considerar la junta. 12

Medidas nominales: Es la medida de las dimensiones reales del bloque de concreto. 12

Porcentaje de área neta: Es la relación del volumen neto del bloque al volumen bruto del mismo multiplicado por 100. 52

Segregar: La separación de los componentes del concreto o de las partículas del agregado, que causando una falta de uniformidad en su distribución en los tamaños del suelo. 42

Trabajabilidad: Propiedad que determina el esfuerzo requerido para manipular una determinada cantidad de concreto. 38

Volumen bruto: Es el volumen del bloque, calculado con sus medidas principales reales. 52

Volumen neto: Es el volumen del bloque calculado de dividir la masa seca del bloque, entre la densidad aparente del mismo, obtenidas de acuerdo al procedimiento indicado en la norma NTG 41055 h1. 52