PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PLAN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE HORMIGONES DE F'c=240 kg/cm² ADICIONANDO POLÍMEROS AL 1 Y 2 % (RESIDUOS DE TAPAS PLÁSTICAS TRITURADAS) UTILIZANDO CEMENTO SELVALEGRE Y ÁRIDOS DE LA MINA DE PINTAG"

AUTOR:

ANDRÉS ALEJANDRO ALMEIDA ALTAMIRANO

QUITO DM, 2022

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN 8

1.1 Justificación 8

1.2 Planteamiento del problema 8

1.3 Objetivos general y específicos 9

1.4 Alcance 10

CAPÍTULO 2.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 10

2.1 Residuos Inorgánicos 10

2.2 Reciclaje de polímeros 10

2.3 Partes de una tapa de botella 11

2.4 Proceso de trituración de polímero 12

CAPÍTULO 3.- CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES Y ENSAYOS EN EL MATERIAL PETREO 12

3.1 Descripción material Pétreo 12

3.2 Caracterización agregados 13

3.2.1 Contenido de Humedad 13

3.2.2 Granulometría 13

3.2.2 Material que pasa por el Tamiz N° 200 14

3.2.3 Gravedad especifica y absorción de los agregados 14

3.2.4 Peso Unitario y porcentaje de vacíos 14

3.2.5 Equivalente de arena 14

3.2.6 Contenido Orgánico 14

3.2.7 Método de abrasión e impacto de la máquina de los ángeles 15

3.2.8 Desgaste de los agregados a los Sulfatos 15

3.3 Propiedades y densidad del cemento 15

CAPÍTULO 4.- DOSIFICACIÓNES Y ENSAYOS DE HORMIGÓN. 16

4.1 Dosificación de hormigones por el Método ACI 211.1 16
4.1.1 Asentamiento 16
4.1.2 Agua Neta 16
4.1.3 Porcentaje de Seguridad 17
4.1.4 Relación entre agua/ cemento (por resistencia Fcr). 17
4.1.5 Contenido de cemento. 18
4.1.6 Cálculo de agregados en estado saturado con superficie seca (S.S.S) 18
4.1.7 Cantidad de agregado fino y grueso, en SSS. 19
4.1.8 Cantidad de agregados en estado natural. 19
4.1.9 Agua de mezcla 20
4.1.10 Dosificación y restimación. 20
4.2 Dosificaciones y metodología empleada para la elaboración de las muestras de hormigón 21
4.2.1 Metodología 21
4.2.2 Dosificación de muestra patrón de hormigón f´c esperado = 240 kg/cm² 22
4.2.3 Fabricación de mezclas de hormigón añadiendo (1 Y 2 %) del polímero (tapas plásticas trituradas). 22
4.3 Ensayos de compresión simple en cilindros de hormigón (ASTM C 39) 23
4.4 Tracción por flexión de viguetas (ASTM C 78) 24
4.5 Módulo de Elasticidad (NORMATIVA ASTM C 469) 25
CAPÍTULO 5.- Análisis de resultados 26
5.1 Presentación de resultados. 26
5.1.1 Contenido de Humedad – Agregado Fino 26
5.1.2 Contenido de Humedad – Agregado Grueso 1” 26
5.1.3 Contenido de Humedad – Agregado Grueso ¾” 26
5.1.4 Ensayo de granulometría (NTE INEN 696) 27
5.1.5 Material Natural que pasa el Tamiz N° 200 (NORMA NTE INEN 697) 29

5.1.6 Gravedad Específica y absorción de los agregados (NORMA NTE INEN 856 / 857)30

5.1.7 Peso unitario de los agregados y porcentaje de vacíos (NORMA NTE INEN 858) 31

5.1.8 Equivalente de Arena (NORMA ASTM D 2419) 31

5.1.9 Contenido Orgánico (NORMA NTE INEN 855) 31

5.1.10 Abrasión (NORMA NTE INEN 860) 31

5.1.11 Desgaste de los agregados a los Sulfatos (NORMA NTE INEN 863) 32

5.1.12 Ensayos de cemento 32

5.1.13 Resistencia a la compresión (ASTM C 39) 33

5.1.14 Resistencia a la flexión de viguetas (ASTM C 78) 38

5.1.15 Módulo de elasticidad (ASTM C 469) 41

5.2 Análisis de resultados 45

5.2.1 Resumen resistencia a la compresión de cilindros 45

5.2.2 Resumen resistencia a la flexión de viguetas 48

5.2.3 Resumen ensayo módulo de elasticidad (28 días) 50

CAPÍTULO 6.- Conclusiones y recomendaciones. 54

6.1 Conclusiones. 54

6.2 Recomendaciones. 56

ANEXOS 59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Revenimiento (r) recomendado para diferentes tipos de construcción..... 16

Tabla 4.2 Agua de Mezcla y contenido de Aire para diferentes tamaños Máximos nominales de Agregado. 17

Tabla 4.3 Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto 18

Tabla 4.4 Porcentaje de agregado y polímero a reemplazar 21

Tabla 4.5 Tabla Dosificación f'c esperado= 240 kg/cm² 22

Tabla 4.6 Dosificación f'c esperado= 240 kg/cm² con 1% TPR 22

Tabla 4.7 Dosificación f'c esperado= 240 kg/cm² con 2% TPR 22

Tabla 5.1 Contenido de Humedad – Fino 26

Tabla 5.2 Contenido de Humedad – Agregado 1” 26

Tabla 5.3 Contenido de Humedad – Agregado ¾” 26

Tabla 5.4 Granulometría - Agregado Fino 27

Tabla 5.5 Granulometría - Agregado Grueso 28

Tabla 5.6 Material Natural que pasa el Tamiz N° 200 29

Tabla 5.7 Gravedad Específica y absorción Agregado fino 30

Tabla 5.8 Gravedad Específica y absorción del Agregado Grueso 1” 30

Tabla 5.9 Gravedad Específica y absorción del Agregado grueso 3/4” 30

Tabla 5.10 Peso Unitario de Agregados 31

Tabla 5.11 Equivalente de Arena 31

Tabla 5.12 Contenido Orgánico 31

Tabla 5.13 Desgaste del agregado grueso en máquina de los Ángeles 31

Tabla 5.14 Desgaste – Agregado Fino 32

Tabla 5.15 Desgaste - Agregado Grueso 32

Tabla 5.16 Densidad del cemento 32

Tabla 5.17 Muestra sin modificar f´c= 240 Kg/cm2 (7 días de edad)..... 33
Tabla 5.18 Muestra modificada con escamas 1% f´c= 240 Kg/cm2 (7 días de edad) 34
Tabla 5.19 Muestra modificada con escamas 2% f´c=240 Kg/cm2 (7 días de edad). 34
Tabla 5.20 Muestra sin modificar f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)..... 35
Tabla 5.21 Muestra modificada con escamas 1% f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)36
Tabla 5.22 Muestra modificada con escamas 2% f´c=240 Kg/cm2 (28 días de edad)37
Tabla 5.23 Muestra sin modificar f´c= 240 Kg/cm2 (7 días de edad)..... 38
Tabla 5.24 Muestra modificada con escamas 1% f´c= 240 Kg/cm2 (7 días de edad) 38
Tabla 5.25 Muestra modificada con escamas 2% f´c= 240 Kg/cm2 (7 días de edad) 39
Tabla 5.26 Muestra sin modificar f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)..... 40
Tabla 5.27 Muestra modificada con escamas 1% f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)40
Tabla 5.28 Muestra modificada con escamas 2% f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)41
Tabla 5.29 Muestra sin modificar f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)..... 42
Tabla 5.30 Resultado módulo de elasticidad f'c=240 Kg/cm2 (0%)..... 42
Tabla 5.31 Muestra modificada con escamas 1%f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)43
Tabla 5.32 Resultado módulo de elasticidad f'c=240 Kg/cm2 (1%)..... 43
Tabla 5.33 Muestra modificada con escamas 2% f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)44
Tabla 5.34 Resultado módulo de elasticidad f'c=240 Kg/cm2 (2%)..... 44
Tabla 5.35 Relación de flexión respecto a compresión (7 días)..... 48
Tabla 5.36 Relación de flexión respecto a compresión (28 días)..... 49
Tabla 5.37 Resumen comparativo módulo de elasticidad f'c= 240 kg/cm2..... 53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Basura plástica rígida por regiones 11

Figura 2.2 Esquema de una tabla plástica 11

Figura 2.3 Proceso de trituración de polímero 12

Figura 3.1 Mapa referencial de la ubicación de la mina de Pintag 13

Figura 4.1 Modelos típicos de fractura 23

Figura 4.2 Longitud de aplicación de carga 24

Figura 5.1 Curva Granulométrica Agregado Fino 28

Figura 5.2 Curva Granulométrica Agregado Grueso 29

Figura 5.3 Esfuerzo a la compresión de cilindros 240 Kg/cm2 (7 días) 45

Figura 5.4 Cambio de densidad por adición de escamas 240 Kg/cm2 (7 días) 45

Figura 5.5 Esfuerzo a compresión porcentaje 240 kg/cm2 (7 días) 46

Figura 5.6 Esfuerzo a la compresión de cilindros 240 Kg/cm2 (28 días) 46

Figura 5.7 Cambio de densidad por adición de escamas 240 Kg/cm2 (28 días) 47

Figura 5.8 Esfuerzo a compresión porcentaje 240 kg/cm2 (28 días) 47

Figura 5.9 Resistencia a flexión 240 Kg/cm2 (7 días) 48

Figura 5.10 Esfuerzo a flexión porcentaje 240 kg/cm2 (7 días) 48

Figura 5.11 Resistencia a flexión 240 Kg/cm2 (28 días) 49

Figura 5.12 Esfuerzo a flexión porcentaje 240 kg/cm2 (28 días) 49

Figura 5.13 Esfuerzo-Deformación unitaria f'c=240 Kg/cm2 (0%) 50

Figura 5.14 Esfuerzo-Deformación unitaria f'c=240 Kg/cm2 (1%) 51

Figura 5.15 Esfuerzo-Deformación unitaria f'c=240 Kg/cm2 (*2*%) 51

Figura 5.16 Resumen comparativo - Esfuerzo vs Deformación f'c=240 Kg/cm2 ... 52

Figura 5.17 Módulo de elasticidad 240 Kg/cm2 53

CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

Actualmente el plástico forma parte de nuestra vida diaria de una manera importante no obstante la contaminación por el uso de residuos plásticos es uno de los principales problemas que afectan el medio ambiente en la actualidad y uno de los desafíos más grandes que enfrentamos es encontrar un equilibrio entre las necesidades de la construcción, la protección del medio ambiente y la salud de las personas por tal razón la importancia de la búsqueda de mezclas de hormigón con materiales plásticos que puedan producir altas resistencias haciendo posible un equilibrio económico y ambiental, cumpliendo, además, las necesidades de diseño funcional y creativo.

Por otro lado, la construcción es una industria que año tras año está en constante crecimiento, a veces con mayor celeridad que en otros momentos. Sin embargo, conforme su progreso poco a poco es imparable, el debate se extiende a la capacidad de poder obtener recursos para la materia prima, como la arena y el plástico se levanta como una solución, así mismo analizando el aprovechamiento de residuos plásticos existen varios beneficios para considerarlo como un material en el ámbito de la construcción gracias a que es ligero, barato y muy versátil, además actualmente ya se los utiliza por ejemplo en resinas, tuberías, pisos, ventas, tableros, entre otros.

El PET es uno de los plásticos más empleados en hormigones debido a que produce beneficios como el reciclaje de residuos plásticos que proceden de la actividad industrial y urbana, la sustitución de agregados naturales y las mejoras en propiedades del hormigón, ya que controla la fisuración, menor densidad y aumento de las condiciones aislantes (Mercante, Ojeda & Chini, 2017).

Por las razones antes mencionadas, se ha planteado el presente trabajo de investigación, con el fin de aprovechar de forma adecuada las tapas plásticas desechadas, mediante la incorporación de este material triturado en las mezclas de hormigón.

1.2 Planteamiento del problema

En la actualidad de todos los materiales que se desechan diariamente en el mundo, el plástico es uno de los más problemáticos al punto de que, en 2018, la Organización de

Naciones Unidas (ONU) lanzó una alerta mundial por su presencia creciente en los océanos y en Ecuador esto no es la excepción ya que es el tercer país de la región que más basura plástica importa especialmente desde Estados Unidos, por ello se considera utilizar residuos de tapas plásticas trituradas con el fin de reutilizar este material e identificar las ventajas que se podrían obtener para su aplicación en la construcción y de esta manera disminuir el impacto ambiental.

El concreto es el material para la construcción más utilizado en el mundo y también uno de los más contaminantes, su proceso de producción aporta a la emisión de gases de efecto invernadero. Cada año más de 4000 millones de toneladas de esta mezcla se crean en el mundo, utilizándolo para construcciones de todo tipo cambiando el paisaje completamente, la cantidad de hormigón que se produce cada año es la responsable del 8% de la cantidad de CO_2 que afecta a la atmósfera (Manise, 2016).

El plástico tarda en descomponerse aproximadamente, y dependiendo de sus componentes, entre 100 y 1000 años. Una botella hecha de plástico, por ejemplo, tarda aproximadamente 500 años en desintegrarse y la degradación de estos plásticos genera partículas de plástico aún más pequeñas que, a pesar de ya no ser visibles se acumulan en los ecosistemas generando toneladas de residuos.

1.3 Objetivos generales y específicos

1.3.1 Objetivo general

Analizar y comparar las propiedades mecánicas del hormigón original f'c=240 kg/cm² con las propiedades mecánicas de hormigones añadiendo polímeros (residuos de tapas plásticas trituradas) a diferentes porcentajes (1% y 2%) como reemplazo del material granular.

1.3.2 Objetivos específicos

- Definir las principales características de los materiales a utilizarse para diseñar el hormigón
- Diseñar las dosificaciones de acuerdo a la normativa ACI 211.1
- Determinar las ventajas y desventajas de utilizar tapas plásticas trituradas como agregado.

1.4 ALCANCE

En el presente trabajo se analizarán las propiedades mecánicas y el comportamiento del hormigón con la añadidura de partículas de tapas plásticas recicladas mediante compresión simple, flexión y módulo de elasticidad a la edad de 7 y 28 días con hormigones de f'c=240 kg/c, se tomara como referencia la caracterización de los materiales y ensayos en el material pétreo realizado en la tesis de Gualle.C y Guayasamin.D en el presente año 2022.

Los materiales a utilizarse como el agregado grueso y agregado fino serán adquiridos en la Mina llamada Piedra roja que está ubicada en el sector de Pintag al sur de Quito. Las partículas trituradas (escamas) de las tapas de botellas plásticas recicladas serán proporcionadas por la empresa RECYPET CONTINENTAL by ENKADOR, la cual está ubicada en el sector Sangolquí.

De esta manera mediante comparaciones y valoraciones se podrá determinar si el porcentaje utilizado (1% y 2%) es beneficioso para la mezcla y que efectos produce.

CAPÍTULO 2.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Residuos Inorgánicos

Los residuos inorgánicos se refieren a los residuos no biodegradables, como vidrio, cartón, metal, plástico, cuero, caucho, fibra, cerámica, madera, ropa y textiles, que son materiales reciclables (34% de los residuos o desechos pueden ser reciclados), sin embargo, el país puede ahorrar este consumo de recursos materiales y, por lo tanto, reducir el consumo de combustible y agua al tiempo que reduce la contaminación de la tierra, el aire y el agua (Instituto Tecnológico de Culiacán, 2018).

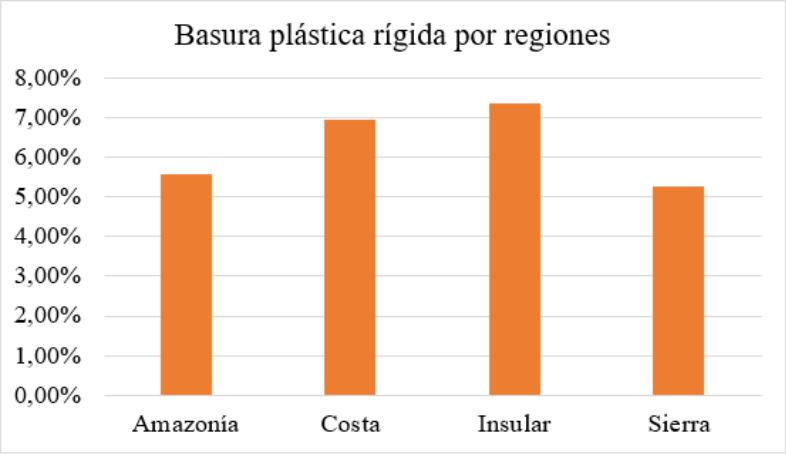
2.2 Reciclaje de polímeros

En Ecuador se considera al reciclaje como un sector prioritario en el cambio de la matriz productiva, por lo cual el 4 de noviembre del 2020, la Asamblea Nacional aprobó la ley para la regulación de plástico y de esta manera se pueda combatir un problema que se ha vuelto insostenible.

El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC] (2019), menciona que en el año 2018 se arrojaron 12.739,01 toneladas de basura diaria de las cuales el 11.43% es plástico lo que equivale a 350.000 vehículos medianos, dichas cifras también dan a conocer

las regiones que más consumen plástico las cuales se muestran mediante un gráfico a continuación.

Figura 2.1 Basura plástica rígida por regiones

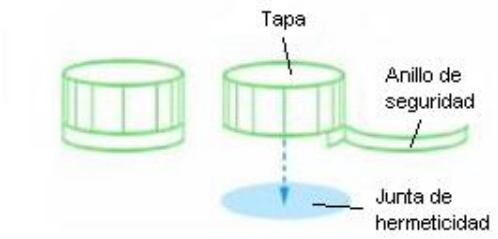


Fuente: INEC, 2019

2.3 Partes de una tapa de botella

La tapa de una botella plástica presenta dos componentes, el primero que es la tapa con su anillo de seguridad con un material de PP (polipropileno) ó PEAD (polietileno de alta densidad) y la junta de hermeticidad en la parte interior que brinda estanqueidad a la tapa lo que impide que escape el anhídrido carbónico. El material de la junta de hermeticidad, en general, es de etilenvinilacetato por sus siglas EVA (Caviedes, 2020).

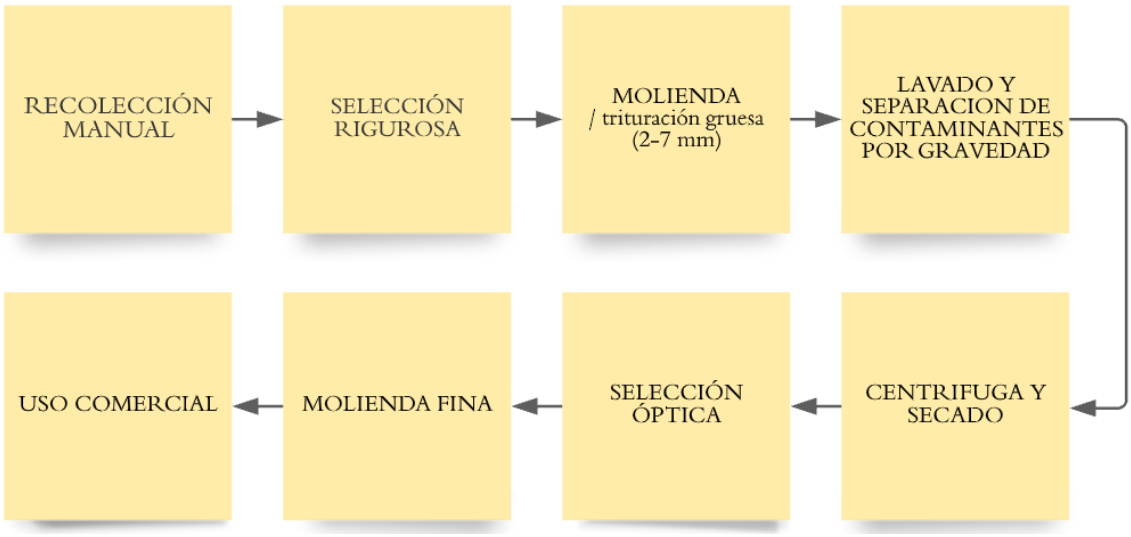
Figura 2.2 Esquema de una tabla plástica



Fuente: Tema Fantástico, S.A

2.4 Proceso de trituración de polímero

Figura 2.3 Proceso de trituración de polímero



Fuente: Recypet

CAPÍTULO 3.- CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES Y ENSAYOS EN EL MATERIAL PETREO

3.1 Descripción material Pétreo

Material Pétreo

Los agregados utilizados son materiales pétreos que tienen un forma granular los cuales pueden tener un origen natural o artificial y constituyen un promedio del 65% y el 85% del volumen total del concreto, estos influyen notoriamente en las propiedades del hormigón en su forma endurecida y fresca, además de establecer las proporciones de la mezcla y el valor económico que representa (Hurtado, 2014, p.4).

Descripción y origen

Criollo (2019), menciona que el material pétreo de la mina que está ubicada en Pintag también llamada “Piedra Roja” se caracteriza por sus diversos orígenes, ya que la cantidad de roca presente en la zona proviene de volcanes como, Antisana, Cotopaxi, Pasochoa, Rumiñahui, Sincholahua, etc (pg.12).

Figura 3.1 Mapa referencial de la ubicación de la mina de Pintag



Fuente: Google Earth

3.2 Caracterización agregados

Las principales características que poseen los agregados las cuales influyen en las propiedades físicas y mecánicas del hormigón son la gradación, forma, textura, absorción, resistencia, mineralogía, módulo de elasticidad, gravedad específica, tamaño máximo resistencia a la acción de sulfatos y dureza. Conforme se determine la influencia de cada una de estas propiedades en el comportamiento del hormigón, será posible realizar diseños de mezclas más eficientes y económicos (Roballo, Zuzolo & Oquendo, 2019).

3.2.1 Contenido de Humedad

Un agregado tiene la capacidad de absorber agua hasta que sus poros internos se saturen, a este estado se lo conoce como superficie saturada seca. Este valor nos ayudará a determinar la masa correcta de los materiales para una mezcla. Se lo puede determinar de acuerdo con la norma ASTM C 70 (Gualle & Guayasamin, 2022).

3.2.2 Granulometría

De acuerdo con la norma ASTM C136 (2019) el método utilizado sirve para determinar la distribución del tamaño de partículas de un agregado mediante cribado, varias

especificaciones para los agregados que hacen referencia a este método contienen requerimientos de clasificación (Gualle & Guayasamin, 2022).

3.2.2 Material que pasa por el Tamiz N° 200

Cuando se disgrega el material se obtienen limos y arcillas lo cuales se consideran materiales más finos que 75 um o también conocido como Tamiz #200, en algunos casos se presentan como un revestimiento alrededor de las partículas de áridos gruesos o también como polvo, lo cual perjudica la adherencia de los agregados a utilizar y por ende en la mezcla deseada ya que la excesiva presencia requiere cantidades mayores de agua lo que reduce su resistencia. Esto se lo puede determinar de acuerdo a la norma Se lo puede determinar de acuerdo con la norma ASTM C117 (2019) (Gualle & Guayasamin, 2022).

3.2.3 Gravedad especifica y absorción de los agregados

EL ensayo de gravedad específica determina el promedio de la densidad de las partículas del árido, y mediante esto conocer el volumen que va a utilizar en la producción de la mezcla que en este caso es de concreto, se lo realiza mediante la norma ASTM C127-128 (2015) (Gualle & Guayasamin, 2022).

3.2.4 Peso Unitario y porcentaje de vacíos

El ASTM C 29 (2009) define al peso unitario de agregados como “la masa de un volumen unitario, donde su volumen incluye el volumen que presentan las partículas individualmente o el volumen que tienen de vacíos entre las mismas.

Para determinar la densidad total se divide la masa del agregado seco para el volumen que ocupa teniendo en cuenta los vacíos de aire entre partículas y los de absorción (Gualle & Guayasamin, 2022).

3.2.5 Equivalente de arena

El ensayo para determinar el equivalente de arena bajo condiciones estándar se define como las cantidades relativas de arcilla o finos plásticos y el polvo de los suelos granulares y agregado fino que pasan el tamiz #4 (4.75 mm). Se lo realiza de acuerdo a la normativa ASTM D 2419 (2003) (Gualle & Guayasamin, 2022).

3.2.6 Contenido Orgánico

Existe contenido orgánico tanto animal como vegetal en el agregado muchas veces en grandes cantidades y esto se vuelve perjudicial para las propiedades del hormigón ya que

afecta a la durabilidad del hormigón, su resistencia, al momento de hidratar el cemento y su tiempo de fraguado, etc. Por esta razón la Norma ASTM C 40 (2011) establece un valor limite que esta aceptable para el agregado fino de 500 ppm, mediante una prueba de colorimetría (Gualle & Guayasamin, 2022).

3.2.7 Método de abrasión e impacto de la máquina de los ángeles

El presente método es utilizado para un agregado menor a 1.5 pulgadas.

El método utilizado es de acuerdo a la norma ASTM C 131 (2014), el impacto en la máquina de los ángeles se utiliza para medir de la degradación de los agregados minerales incluido el desgaste o abrasión. El impacto y molido dentro del tambor circular de rotación tiene un número específico de esferas metálicas, esta cantidad depende de la graduación que se realice en la muestra del ensayo. Las muestras giran por dentro del tambor generando un efecto de choque e impacto (Gualle & Guayasamin, 2022).

3.2.8 Desgaste de los agregados a los Sulfatos

El ensayo de desgaste a los sulfatos permite determinar la capacidad que poseen los agregados a comportarse correctamente al estar en contacto con agentes externos o internos adversos a su uso o al clima, perjudicando así la durabilidad del hormigón (Gualle & Guayasamin, 2022).

La Norma ASTM C 88 (2013), establece que para agregados finos un desgaste del 10 % y para agregado grueso 12 %, siempre y cuando el ensayo se lo realice con sulfato de sodio.

3.3 Propiedades y densidad del cemento

Tipo de cemento: El cemento SELVALEGRE es un tipo de cemento que está diseñado para todo tipo de construcción de hormigón, el cual cumple con los requerimientos establecidos por la norma NTE INEN 490 y ASTM C 595 (Gualle & Guayasamin, 2022).

La norma ASTM C 188 (2014), define a la densidad del cemento hidráulico como la relación existente entre una masa de cemento y el volumen de un líquido que no es reactivo el cual dicha masa desplaza en el frasco de Le Chatelier

$$d = \frac{m}{v}$$

Donde:

d = Densidad

m = Masa del cemento hidráulico

v = Volumen desplazado

El valor calculado es utilizado para la determinación del peso y volumen de una mezcla de hormigón.

CAPÍTULO 4.- DOSIFICACIÓNES Y ENSAYOS DE HORMIGÓN.

4.1 Dosificación de hormigones por el Método ACI 211.1

4.1.1 Asentamiento

Según el método ACI se establece un valor a utilizarse de acuerdo al tipo de construcción:

Tabla 4.1 Revenimiento (r) recomendado para diferentes tipos de construcción

CONSTRUCCIÓN CON CONCRETO	REVENIMIENTO MM (PULGADAS)	
Zapatas y muros de cimentación reforzados	Máximo	Mínimo
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto Masivo	75 (3)	25 (1)

Fuente: ACI 211.1-91- Diseño de mezclas de concreto.

4.1.2 Agua Neta

La cantidad de agua puede afectar significativamente en el desarrollo de resistencia, la adherencia, el manejo, etc. del concreto.

Mediante la siguiente tabla se presentan valores de agua neta y % de aire atrapado de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado teniendo en cuenta si es concreto con aire incluido o no.

Tabla 4.2 Agua de Mezcla y contenido de Aire para diferentes tamaños Máximos nominales de Agregado.

Revenimiento, mm	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, según tamaños de agregado indicados.							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad (%) aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-

Fuente: ACI 211.1-91 – Tabla 6.3.3; Diseño de mezclas de concreto

4.1.3 Porcentaje de Seguridad

Establecer un porcentaje de seguridad sirve para garantizar que el hormigón llegue a la resistencia que se estimó anteriormente, se la conoce como resistencia de diseño, este porcentaje es aproximadamente del 5%.

4.1.4 Relación entre agua/ cemento (por resistencia Fcr).

La relación agua/cemento (A/C) requerida se debe determinar para los requisitos de resistencia y teniendo en cuenta la durabilidad, también se debe tomar en cuenta si el concreto incluye o no aire. Después de haber definido el porcentaje de seguridad se determinará la relación mediante la siguiente expresión:

$$f'c_{dise} = f'c_{reque} * \left(1 + \frac{\%\ seguridad}{100}\right)$$

Después de obtener el $f'c_{diseño}$ se procede a obtener la relación agua/cemento de la siguiente tabla (Tabla) la cual ha sido modificada por el Ing. Lauro Lara mediante investigaciones para usarlas con los agregados y cementos en Ecuador.

Tabla 4.3 Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto

Resistencia compresión a los 28 días, $^{kg}/_{cm^2}$ (Mpa)	Relación agua- material cementante en masa	
	Cemento Portland (ACI 211.1)	Cemento Modificado IP, P, (Ing. Lauro Lara)
400 (40)	0.42	0.33
350 (35)	0.47	0.38
300 (30)	0.54	0.43
250 (25)	0.61	0.50
200 (20)	0.69	0.58
150 (15)	0.79	0.67

Fuente: ACI 211.1-91 - Tabla 6.3.4 (a); Diseño de mezclas de concreto

4.1.5 Contenido de cemento.

Una vez obtenida el agua neta y la relación agua/cemento calculamos la cantidad de cemento con la siguiente fórmula:

$$Cemento = \frac{Agua\ neta}{Relación\ \ a/c}$$

4.1.6 Cálculo de agregados en estado saturado con superficie seca (S.S.S)

Para calcular el peso unitario de los agregados saturados con superficie seca, debemos calcular el peso unitario del hormigón fresco mediante la siguiente fórmula.

$$Agregados\ (sss) = Um - Cemento - Agua\ neta.$$

Para ello se definió previamente las propiedades de los agregados o materiales pétreos que se van a utilizar como son: humedad natural, absorción, gravedad especifica de los agregados y del cemento, entre otros.

$$Um = 10Ga(100 - A) + Cm\left(1 - \frac{Ga}{Gc}\right) - Wm(Ga - 1)$$

Donde:

Ga= Gravedad específica saturada con superficie seca promedio del agregado grueso y fino combinado.

Gc= Gravedad específica del cemento.

A= Porcentaje de aire que está atrapado.

Wm= Cantidad de agua neta, $^{kg}/_{m^3}$.

Cm= Cantidad de cemento, $^{kg}/_{m^3}$.

4.1.7 Cantidad de agregado fino y grueso, en SSS.

Después de obtener los módulos de finura con las siguientes expresiones:

$$mt = \left(MFf * \frac{x}{100}\right) + \left(MFg * \frac{y}{100}\right)$$

$$X + Y = 100$$

Por consiguiente, podemos establecer los porcentajes de agregado fino y grueso para poder definir la cantidad de arena y ripio en SSS. De acuerdo a estos valores comprobamos que la cantidad de mezcla sea la correcta para evitar problemas como el escurrimiento de la segregación.

$$Arena\ (SSS) = \frac{\%\ agregado\ fino}{100} * Agregados(sss)$$

$$Ripio\ 1\ (SSS) = \frac{\%\ agregado\ grueso\ 1}{100} * Agregados(sss)$$

$$Ripio\ 2\ (SSS) = \frac{\%\ agregado\ grueso\ 2}{100} * Agregados(sss)$$

4.1.8 Cantidad de agregados en estado natural.

Al momento de dosificar es impórtate conocer el estado de humedad en los que se encuentran los agregados, esto se define con la siguiente expresión:

$$Masa\ Seca\ Ripio\ 1 = \frac{Ripio\ 1\ (SSS)}{1 + \frac{\%\ Absorción\ Ripio\ 1}{100}}$$

$$Masa\ Seca\ Ripio\ 2 = \frac{Ripio\ 2\ (SSS)}{1 + \frac{\%\ Absorción\ Ripio\ 2}{100}}$$

$$Masa\ Seca\ Arena = \frac{Arena\ (SSS)}{1 + \frac{\%\ Absorción\ Arena}{100}}$$

$$Ripio\ Natural\ 1 = Masa\ Seca\ Ripio\ 1 * \left(1 + \frac{\%Humedad\ Ripio\ 1}{100}\right)$$

$$Ripio\ Natural\ 2 = Masa\ Seca\ Ripio\ 2 * \left(1 + \frac{\%Humedad\ Ripio\ 2}{100}\right)$$

$$Arena\ Natural = \ Masa\ Seca\ Arena * \left(1 + \frac{\%Humedad\ Arena}{100}\right)$$

4.1.9 Agua de mezcla

El agua de mezcla se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Agua\ de\ mezcla = Agua\ neta + \frac{Arena(s)(\%abs - \%hum)}{100} + \frac{Ripio1(s)(\%abs.rip\ 1 - \%hum.rip.1}{100} + \frac{Ripio2(s)(\%abs.ripio2 - \%hum.rip.2}{100}$$

Siendo:

Arena (s) = Masa seca de arena.

Ripio (s) = Masa seca de ripio.

%abs = Porcentaje absorción.

%hum = Porcentaje humedad natural.

4.1.10 Dosificación y restimación.

Se realizó la dosificación para obtener hormigones convencionales con un asentamiento estimado entre 7.5 a 10 cm el mismo que fue establecido en 9+/-1 cm. Una vez elaborada la primera mezcla se debe corroborar que el peso unitario obtenido y su asentamiento es el mismo o se asemeja al valor esperado, caso contrario se procede a restimar el agua neta de la siguiente forma:

1. Corrección por peso unitario:

$$Factor\ de\ correción = \frac{Peso\ unitario\ esperado}{Peso\ unitario\ obtenido}$$

2. Corrección por asentamiento:

$$Agua\ neta\ corregida = \frac{Agua\ neta}{Factor\ de\ correción} + 2 * (asent.requerido - asent.obtenido)$$

Donde:

Por cada centímetro de asentamiento obtenido en exceso con respecto al asentamiento estimado se reduce 2 kg de $^{agua}/_{cm^3}$ de hormigón.

De igual manera, por cada centímetro de asentamiento obtenido menor con respecto al asentamiento estimado se aumenta 2 kg de $^{agua}/_{cm^3}$ de hormigón.

Dicho proceso se repetirá hasta obtener los valores esperados.

4.2 Dosificaciones y metodología empleada para la elaboración de las muestras de hormigón

4.2.1 Metodología

En primer lugar, se fabricó hormigones como muestra base con una resistencia de 240 kg/cm² de forma normal, lo que significa que en estas muestras no se modificará su material fino, lo que nos servirá para comparar y analizar con las muestras que serán realizadas remplazando el 1% y 2% de este agregado por tapas plásticas trituradas, siendo estos los indicados a continuación:

Tabla 4.4 Porcentaje de agregado y polímero a reemplazar

Mezcla	Agregados (%)	Tapas plásticas trituradas (%)
Base	100	0
1	99	1
2	98	2

Fuente: Propia

Esto significa que por cada resistencia vamos a tener 3 dosificaciones y para cada una se van a realizar 13 muestras para los respectivos ensayos, siendo 7 cilindros y 6 viguetas, de manera que 2 cilindros se utilizaran para compresión simple a los 7 días y 4 cilindros se utilizaran para compresión simple a los 28 días, de los últimos se tomara 1 para módulo de elasticidad, de igual manera se utilizarán las 2 viguetas mencionadas para flexión a los 7 días y 4 viguetas mencionadas para flexión a los 28 días, este proceso se repetirá para cada dosificación teniendo un total de 26 muestras .

Finalmente se utilizarán los resultados correspondientes a las muestras con añadidura de tapas plásticas trituradas recicladas para identificar diferencias, ventajas y desventajas con respecto a una dosificación normal sin añadiduras de este polímero.

4.2.2 Dosificación de muestra patrón de hormigón f´c esperado = 240 kg/cm²

Tabla 4.5 Tabla Dosificación f'c esperado= 240 kg/cm²

Dosificación f'c= 240 kg/cm2	
Agua	219 kg/m3
Cemento	369 kg/m3
Arena	783 kg/m3
Ripio 1 (1")	324 kg/m3
Ripio 2 (3/4")	322 kg/m3

Fuente: Tesis (Gualle & Guayasamin, 2022)

4.2.3 Fabricación de mezclas de hormigón añadiendo (1 Y 2 %) del polímero (tapas plásticas trituradas).

Para la dosificación del hormigón utilizando porcentajes (1% y 2%) el polímero plástico como agregado fino, partimos de la dosificación de hormigón convencional antes realizadas $\left(F'c\ = 240\,\frac{kg}{cm2}\right)$ obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.6 Dosificación f'c esperado= 240 kg/cm² con 1% TPR

Dosificación f'c= 240 kg/cm2 con 1% TPR	
Agua	219 kg/m3
Cemento	369 kg/m3
Polímero	79 kg/m3
Arena	776 kg/m3
Ripio 1 (1")	324 kg/m3
Ripio 2 (3/4")	322 kg/m3

Fuente: Propia

Tabla 4.7 Dosificación f'c esperado= 240 kg/cm² con 2% TPR

Dosificación f'c= 240 kg/cm2 con 2% TPR	
Agua	219 kg/m3
Cemento	369 kg/m3

Polímero	157 kg/m3
Arena	768 kg/m3
Ripio 1 (1")	324 kg/m3
Ripio 2 (3/4")	322 kg/m3

Fuente: Propia

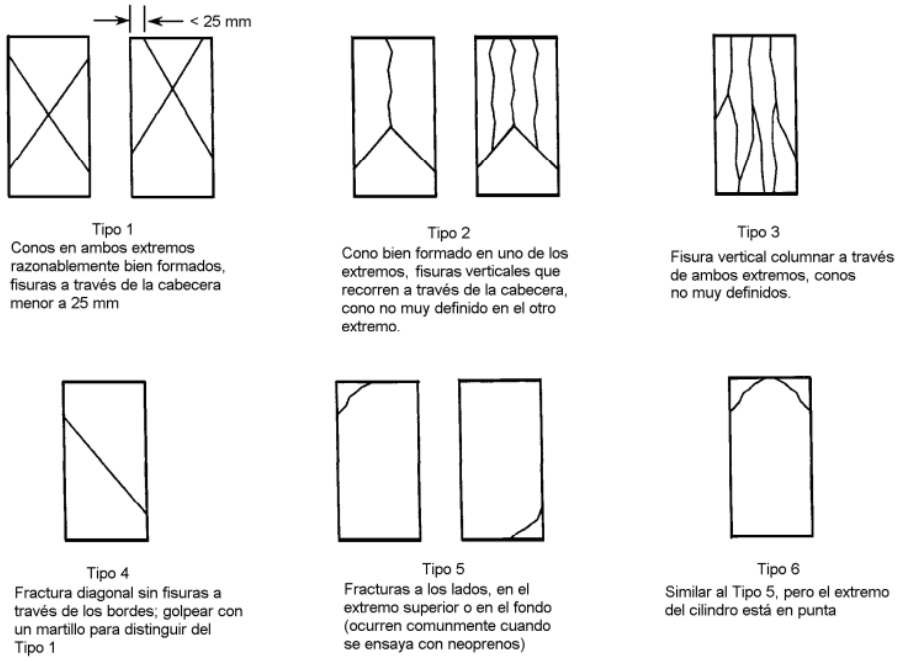
4.3 Ensayos de compresión simple en cilindros de hormigón (ASTM C 39)

La resistencia que tiene el hormigón a la compresión es una de las características con mayor importancia, debido a que su diseño está enfocado en desarrollar resistencia a esfuerzos de compresión (INEN,2010).

Las muestras cilíndricas que se utilizan en este ensayo tienen dimensiones estandarizadas, las cuales son: diámetro = 15 cm, longitud = 30 cm.

Estas muestras se someten a una carga axial con una velocidad comprendida entre 0.34 – 0.14 MPa/s hasta que en el hormigón se produzca una falla o rotura, para posteriormente calcular la resistencia a la compresión empleando la carga máxima alcanzada, dividida para el área de la sección transversal de la muestra (INEN,2010).

Figura 4.1 Modelos típicos de fractura



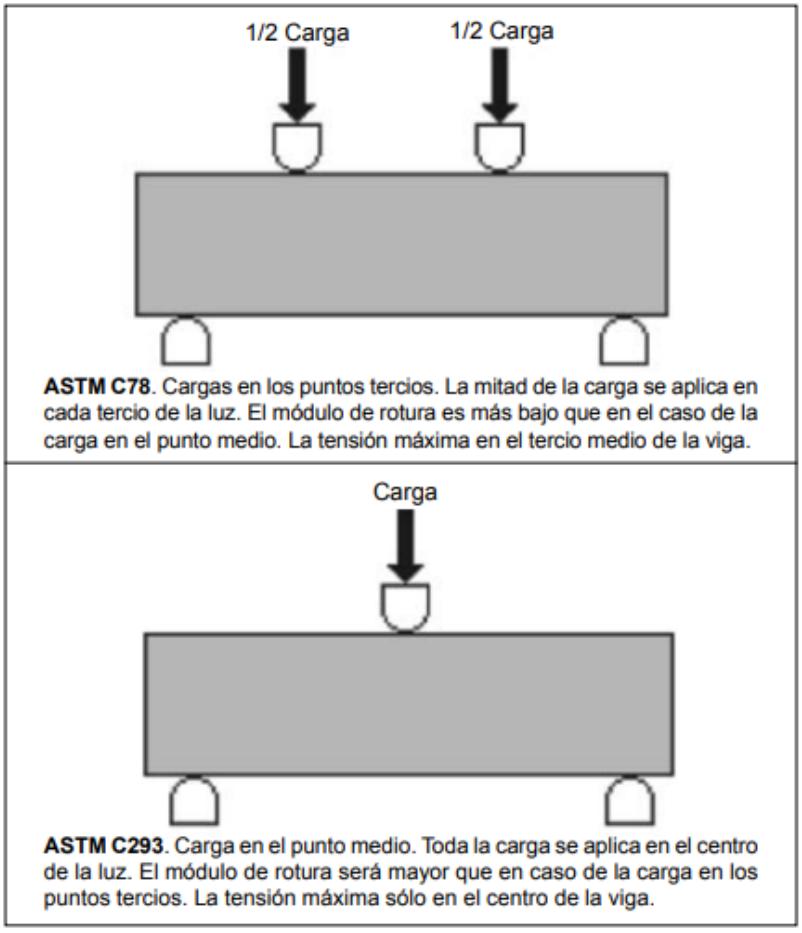
Fuente: INEN 573

4.4 Tracción por flexión de viguetas (ASTM C 78)

Según INEN (2011), la resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del hormigón, donde se aplica un esfuerzo a una viga de hormigón no reforzada hasta que esta llegue a fallar, dando como resulta el módulo de rotura, obtenido en MPa esto definido por la norma ASTM C78.

Esta norma específica el método de los tres puntos, que requiere que la muestra se apoye libremente en los extremos y se cargue hasta un tercio de su luz libre, donde se calcula el momento máximo antes de la falla. El porcentaje obtenido del módulo de rotura está entre el 10% y el 20% de la resistencia obtenida en el ensayo de compresión (INEN, 2011).

Figura 4.2 Longitud de aplicación de carga



Fuente: Concreto, I.E. (2009). Inecy.otg.ec

El módulo de rotura se calcula con la siguiente fórmula:

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Siendo:

$P =$ Carga aplicada (KN).

$L =$ Luz libre (mm).

$b =$ Promedio del ancho (mm).

$d =$ Promedio de la altura (mm).

4.5 Módulo de Elasticidad (NORMATIVA ASTM C 469)

El módulo de elasticidad se define como la relación entre la carga aplicada al material y la deformación unitaria resultante. (Páez, 2018).

Este ensayo se lo realiza con la Norma ASTM C 469, donde se obtienen valores del módulo en un rango comprendido entre 0% y 40% de la resistencia ultima de la muestra (ACI, 1995).

Se establece la siguiente fórmula calcular el módulo de elasticidad:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0.000050}$$

Donde:

$E =$ Módulo de elasticidad.

$\sigma_1 =$ Esfuerzo debido a la deformación longitudinal de 50 millonésima.

$\sigma_2 =$ Esfuerzo debido al 40% de la carga última.

$\varepsilon_2 =$ Deformación longitudinal producida por el esfuerzo σ_2.

Así mismo, el ACI establece la siguiente expresión:

$$E = 4270 * W^{1.5} * \sqrt{f'c}$$

Siendo:

$E =$ Módulo de elasticidad.

$W^{1.5}$= Peso específico.

$f'c =$ Esfuerzo máximo de compresión.

Para comparar los valores anteriormente obtenidos por el ACI tenemos los siguientes parámetros:

$$\Lambda = \frac{\alpha}{W^{1.5}}$$

Donde:

$$\alpha = \frac{E_c}{\sqrt{f'c}}$$

CAPÍTULO 5.- Análisis de resultados

5.1 Presentación de resultados.

Ensayos de Áridos

5.1.1 Contenido de Humedad – Agregado Fino

Tabla 5.1 Contenido de Humedad – Fino

Contenido de Humedad - Agregado Fino			
Masa de la muestra original (g)	121,1	125,89	116,06
Masa de la muestra seca (g)	117,77	122,45	113,06
Contenido total de humedad (%)	2,83	2,81	2,65
Contenido de humedad promedio (%)			
2,82			

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

5.1.2 Contenido de Humedad – Agregado Grueso 1”

Tabla 5.2 Contenido de Humedad – Agregado 1”

Contenido de Humedad – Agregado Grueso 1”			
Masa de la muestra original (g)	318,26	342,47	411,37
Masa de la muestra seca (g)	317,46	341,37	410,27
Contenido total de humedad (%)	0,25	0,32	0,27
Contenido de humedad promedio (%)			
			0,26

Fuente: Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

5.1.3 Contenido de Humedad – Agregado Grueso ¾”

Tabla 5.3 Contenido de Humedad – Agregado ¾”

Contenido de Humedad - Agregado Grueso ¾”

Masa de la muestra original (g)	268,2	279,22	249,57
Masa de la muestra seca (g)	267,4	278,02	248,57
Contenido total de humedad (%)	0,3	0,43	0,4
Contenido de humedad promedio (%)			
			0,41

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

5.1.4 Ensayo de granulometría (NTE INEN 696)

Tabla 5.4 Granulometría - Agregado Fino

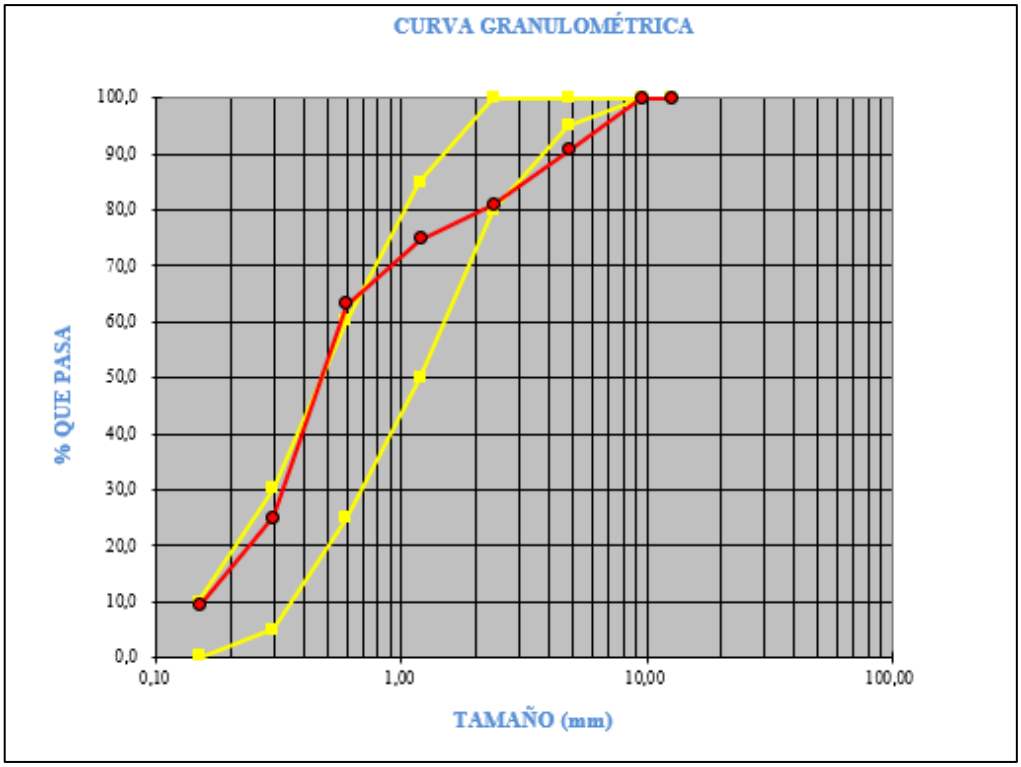
MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA CUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES %min	%max
1/2"	12,70	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
3/8"	9,51	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.4	4,76	97,00	97,00	9,50	90,50	95,00	100,00
No.8	2,36	99,00	196,00	19,30	80,70	80,00	100,00
No.16	1,19	62,00	258,00	25,40	74,60	50,00	82,00
No.30	0,60	118,00	376,00	37,00	63,00	25,00	60,00
No.50	0,30	385,00	761,00	74,80	25,20	5,00	30,00
No.100	0,15	163,00	924,00	90,90	9,10	0,00	10,00
P A S A No 100		93,00	93,00				
SUMA		1017,00	1017,00				

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

MF = 2.57

Tamaño Máximo = 1’’

Figura 5.1 Curva Granulométrica Agregado Fino



Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

Tabla 5.5 Granulometría - Agregado Grueso

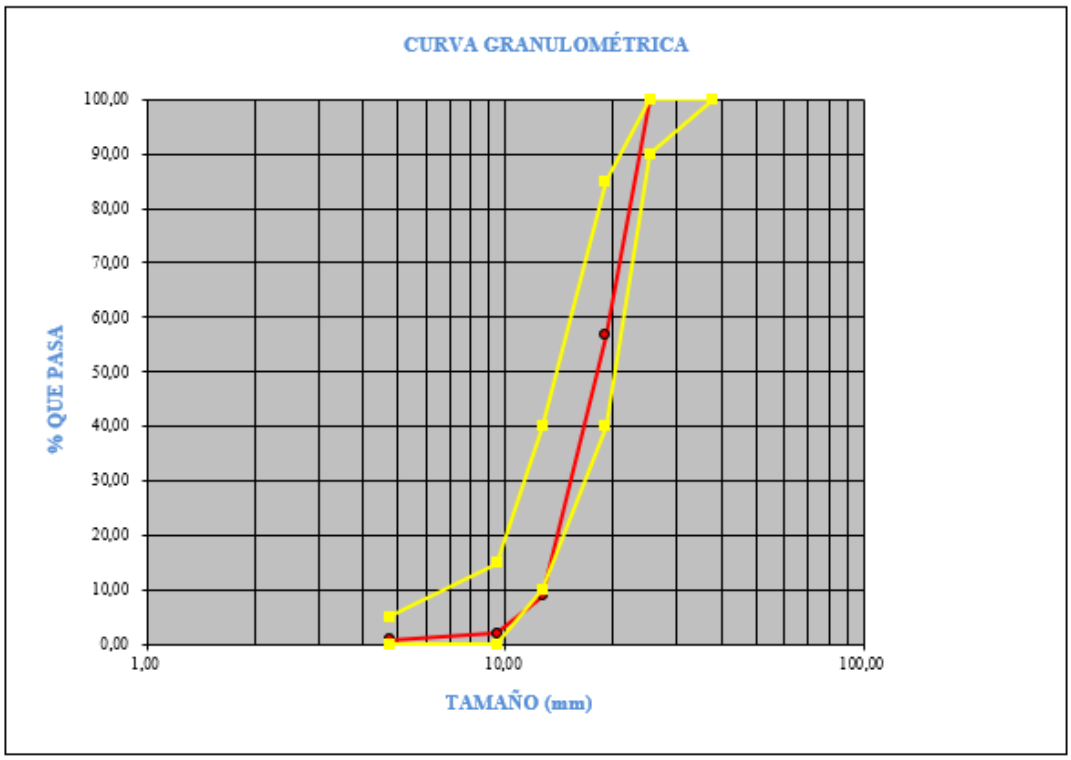
MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL (gr)	MASA RETENIDA CUMULADA (gr)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES %min	%max
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00	90,00	100,00
3/4"	19,00	4713,50	4713,50	43,29	56,71	40,00	85,00
1/2"	12,70	5198,50	9912,00	91,03	8,97	10,00	40,00
3/8"	9,51	749,50	10661,50	97,92	2,08	0,00	15,00
No.4	4,76	128,00	10789,50	99,09	0,91	0,00	5,00
P A S A No 100		99,00	99,00				
SUMA		10888,50	10888,50				

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

MF = 7.40

Tamaño Máximo = #4

Figura 5.2 Curva Granulométrica Agregado Grueso



Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

5.1.5 Material Natural que pasa el Tamiz N° 200 (NORMA NTE INEN 697)

$$A = \frac{B - C}{B} * 100$$

Donde:

A= % de material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (N°200) mediante lavado.

B= Masa seca de la muestra, gr.

C= Masa seca de la muestra después del lavado, gr.

Tabla 5.6 Material Natural que pasa el Tamiz N° 200

B	C	A
625.87 (gr)	528.42 (gr)	15.57%

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

5.1.6 Gravedad Específica y absorción de los agregados (NORMA NTE INEN 856 / 857)

Tabla 5.7 Gravedad Específica y absorción Agregado fino

DESCRIPCIÓN		**Valor**
Masa de la muestra seca (g)	A	472,6
Masa del matraz con agua (g)	B	652,3
Masa de la muestra + matraz+ agua (g)	C	952,3
Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)	S	501
Gravedad especifica Bulk	GE	2,35
Gravedad especifica de material saturado con superficie seca	GEs	2,49
Gravedad especifica aparente	Gea	2,74
Porcentaje de absorción	Ab	6

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

Tabla 5.8 Gravedad Específica y absorción del Agregado Grueso 1”

DESCRIPCIÓN		**Valor**
Masa de la muestra seca (g)	A	472,6
Masa del matraz con agua (g)	B	652,3
Masa de la muestra + matraz+ agua (g)	C	952,3
Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)	S	501
Gravedad especifica Bulk	GE	2,35
Gravedad especifica de material saturado con superficie seca	GEs	2,49
Gravedad especifica aparente	Gea	2,74
Porcentaje de absorción	Ab	6

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

Tabla 5.9 Gravedad Específica y absorción del Agregado grueso 3/4”

DESCRIPCIÓN		**Valor**
Masa de la muestra seca (g)	A	3934
Masa del matraz con agua (g)	B	4047
Masa de la muestra + matraz+ agua (g)	C	2395
Gravedad especifica Bulk	GE	2,38
Gravedad especifica de material saturado con superficie seca	GEs	2,45
Gravedad especifica aparente	Gea	2,56
Porcentaje de absorción	Ab	2,87

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

5.1.7 Peso unitario de los agregados y porcentaje de vacíos (NORMA NTE INEN 858)

Tabla 5.10 Peso Unitario de Agregados

AGREGADO		**FINO**	**1”**	**¾”**
Masa del molde (g)	P	5050	8540	8540
Volumen del molde (g)	V	2980	9950	9950
Masa molde + material suelto (g)	A	9046	21538	21498
Masa molde + material compacto (g)	B	9691	22714	21875
Masa del material suelto (g)	Ms	3996	12998	12958
Masa del material compacto (g)	Mc	4641	14174	13335
Peso unitario suelto (Kg/m3)	Pus	1340,94	1306,33	1302,31
Peso unitario compactado (Kg/m3)	Puc	1557,38	1424,52	1340,2
Vacíos (%)		37.46%	42.09%	45.30%

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

5.1.8 Equivalente de Arena (NORMA ASTM D 2419)

$$EA = \frac{B}{A} * 100$$

Tabla 5.11 Equivalente de Arena

N°	**1**	**2**
LECTURA A	5,2	5
LECTURA B	4,1	4,3
EQUIVALENTE	78,85%	86%
PROMEDIO		82,42%

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

5.1.9 Contenido Orgánico (NORMA NTE INEN 855)

Tabla 5.12 Contenido Orgánico

Color de muestra (# Escala)	≤ 2
ASTM C 40	Cumple

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

5.1.10 Abrasión (NORMA NTE INEN 860)

Tabla 5.13 Desgaste del agregado grueso en máquina de los Ángeles

Desgaste del agregado grueso en Maquina de los Ángeles				
Masa Inicial (g)	**Masa Pasante Tamiz N° 12**	**Masa Retenida Tamiz N°12**	**Abrasión (%)**	**Máximo Valor INEN 860 (50%)**

4903	1386	3567	28,27	Si cumple

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

5.1.11 Desgaste de los agregados a los Sulfatos (NORMA NTE INEN 863)

Desgaste del agregado Fino

Tabla 5.14 Desgaste – Agregado Fino

Tamiz		% Parcial Retenido	Masa Fracción Inicial	Masa Fracción Final	% Después del Ensayo	% Desgaste Parcial
Pasa	Retiene					
	3/8"	0,29	4,8	3,3	10,2	0,03
3/8"	#4	3,2	26,39	32,56	10,17	0,34
#4	#8	18,15	101	96,8	3	0,55
#8	#16	19,3	100,01	97	2,08	0,41
#16	#30	15,6	100	96,87	3,67	0,58
#30	#50	14,2	100,04	89,4	10,11	1,4
#50		29			10,11	2,87
% TOTAL DESGASTE						6,18

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

Desgaste del agregado Grueso

Tabla 5.15 Desgaste - Agregado Grueso

Tamiz		% Parcial Retenido	Masa Fracción Inicial	Masa Fracción Final	% Después del Ensayo	% Desgaste Parcial
Pasa	Retiene					
1 1/2"	1"	1,02	336	332,9	0,92	0,01
1"	3/4"	3,2	674	669,74	0,63	0,02
3/4"	1/2"	16,45	509	506	0,59	0,09
1/2"	3/8"	16,83	331	325,97	1,52	0,26
3/8"	#4	40,08	300	295,91	1,36	0,54
#4		22,2			1,37	0,31
% TOTAL DESGASTE						1,23

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

5.1.12 Ensayos de cemento

Densidad (NORMA NTE INEN 156)

Tabla 5.16 Densidad del cemento

Descripción	Unidad	Cantidad
Gasolina + lectura inicial frasco Chatelier	cm^3	0,52
Gasolina + masa inicial frasco	g	327,7
Gasolina + cemento + lectura final frasco Chatelier	cm^3	18,8
Gasolina + cemento + masa final frasco	g	381,7
Densidad	g/cm^3	2,95

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

5.1.13 Resistencia a la compresión (ASTM C 39)

Ensayos de Hormigón a los 7 días

Muestra sin modificar f´c= 240 Kg/cm2 (7 días de edad)

Tabla 5.17 Muestra sin modificar f´c= 240 Kg/cm2 (7 días de edad)

Obra:	Tesis Almeida	**Ensayado por:**	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm2	**Calculado por:**	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Edad:	7 días	**Aprobado por:**	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	0%	**Fecha:**	17/10/2022

Muestra	1	2
Fecha elaboración	10/3/2022	10/3/2022
Fecha de rotura	17/3/2022	17/3/2022
Edad del cilindro (días)	7	7
Diámetro 1 (mm)	151,8	152,2
Diámetro 2 (mm)	151,0	152,0
Altura 1 (mm)	303	300
Altura 2 (mm)	300	301
Altura 3 (mm)	302	302
Masa (Kg)	11,36	11,45
Altura promedio	301,67	301,00
Diámetro promedio (mm)	151,40	152,10
Área (mm2)	17948,96	18016,81
Tipo de falla	4	4

Carga máx. (N)	287215	279725
Resistencia máxima (Kg/cm2)	163,17	158,32
Resistencia promedio	160,75	
Desviación estándar	3,43	
Resistencia característica	155,12	

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín

Muestra modificada con escamas 1% f´c= 240 Kg/cm2 (7 días de edad)

Tabla 5.18 Muestra modificada con escamas 1% f´c= 240 Kg/cm2 (7 días de edad)

Obra:	Tesis Almeida	**Ensayado por:**	Almeida Andrés
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm2	**Calculado por:**	Almeida Andrés
Edad:	7 días	**Aprobado por:**	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	1%	**Fecha:**	6/10/2022

Muestra	**1**	**2**
Fecha elaboración	9/29/2022	9/29/2022
Fecha de rotura	6/10/2022	6/10/2022
Edad del cilindro (días)	7	7
Diámetro 1 (mm)	151,8	152,2
Diámetro 2 (mm)	151	152
Altura 1 (mm)	302	300
Altura 2 (mm)	303	301
Altura 3 (mm)	302	300
Masa (Kg)	11,26	11,31
Altura promedio	302,33	300,33
Diámetro promedio (mm)	151,40	152,10
Área (mm2)	17980,67	17984,96
Tipo de falla	4	4
Carga máx. (N)	295818,06	288762,35
Resistencia máxima (Kg/cm2)	167,76	163,72
Resistencia promedio	165,74	
Desviación estándar	2,86	
Resistencia característica	161,06	

Fuente: Propia

Muestra modificada con escamas 2% f´c=240 Kg/cm2 (7 días de edad)

Tabla 5.19 Muestra modificada con escamas 2% f´c=240 Kg/cm2 (7 días de edad)

Obra:	Tesis Almeida	**Ensayado por:**	Almeida Andrés
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm2	**Calculado por:**	Almeida Andrés
Edad:	7 días	**Aprobado por:**	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	2%	**Fecha:**	6/10/2022

Muestra	**7**	**8**
Fecha elaboración	9/29/2022	9/29/2022
Fecha de rotura	6/10/2022	6/10/2022
Edad del cilindro (días)	7	7
Diámetro 1 (mm)	151	150,6
Diámetro 2 (mm)	152,5	151
Altura 1 (mm)	304	300
Altura 2 (mm)	305	300
Altura 3 (mm)	305	301
Masa (Kg)	10,98	11,10
Altura promedio	304,67	300,33
Diámetro promedio (mm)	151,75	150,80
Área (mm2)	18141,81	17800,44
Tipo de falla	4	4
Carga máx. (N)	284015,77	277726,73
Resistencia máxima (Kg/cm2)	159,64	159,10
Resistencia promedio	159,37	
Desviación estándar	0,38	
Resistencia característica	158,74	

Fuente: Propia

Ensayos de Hormigón a los 28 días

Muestra sin modificar f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Tabla 5.20 Muestra sin modificar f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Obra:	Tesis	**Ensayado por:**	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm2	**Calculado por:**	Gualle Carlos; Guayasamin Debbie
Edad:	28 días	**Aprobado por:**	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	0%	**Fecha:**	7/4/2022

Muestra	3	4	5	6
Fecha elaboración	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022	10/3/2022
Fecha de rotura	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022	7/4/2022
Edad del cilindro (días)	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	150	150	151	150
Diámetro 2 (mm)	151	151	151	151
Altura 1 (mm)	299	299	299	300
Altura 2 (mm)	298	298	300	300
Altura 3 (mm)	300	297	299	301
Masa (Kg)	11,6	11,6	11,8	11,9
Altura promedio	299	298	299,33	300,33
Diámetro promedio (mm)	15,05	15,05	15,1	15,05
Área (mm2)	17789,46	17789,46	17907,86	17789,46
Tipo de falla	5	5	5	5
Carga máx. (N)	463250	460180	451170	433960
Resistencia máxima (Kg/cm2)	265,54	263,78	256,91	248,75
Resistencia promedio	258,75			
Desviación estándar	7,63			
Resistencia característica	246,23			

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín

Muestra modificada con escamas 1% f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Tabla 5.21 Muestra modificada con escamas 1% f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Obra:	Tesis Almeida	**Ensayado por:**	Almeida Andrés
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm2	**Calculado por:**	Almeida Andrés
Edad:	28 días	**Aprobado por:**	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	1%	**Fecha:**	27/10/2022

Muestra	3	4	5	6
Fecha elaboración	29/9/2022	29/9/2022	29/9/2022	29/9/2022
Fecha de rotura	27/10/2022	27/10/2022	27/10/2022	27/10/2022
Edad del cilindro (días)	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	152	151,2	151,8	152,2
Diámetro 2 (mm)	152,1	152,9	151,2	151,8
Altura 1 (mm)	302	303	303	299,8
Altura 2 (mm)	300	303,2	303,8	301
Altura 3 (mm)	301	303,1	301,6	300
Masa (Kg)	11,65	11,45	11,41	11,53

Altura promedio	301,00	303,10	302,80	300,27
Diámetro promedio (mm)	152,05	152,05	151,50	152,00
Área (mm2)	18009,69	18110,01	18017,13	17967,56
Tipo de falla	5	5	5	5
Carga máx. (N)	467253	458455	478670	456875
Resistencia máxima (Kg/cm2)	264,56	258,14	270,91	259,29
Resistencia promedio	263,23			
Desviación estándar	5,84			
Resistencia característica	253,65			

Fuente: Propia

Muestra modificada con escamas 2% f´c=240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Tabla 5.22 Muestra modificada con escamas 2% f´c=240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Obra:	Tesis Almeida	**Ensayado por:**	Almeida Andrés
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm2	**Calculado por:**	Almeida Andrés
Edad:	28 días	**Aprobado por:**	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	2%	**Fecha:**	6/10/2022

Muestra	**9**	**10**	**11**	**12**
Fecha elaboración	29/9/2022	29/9/2022	29/9/2022	29/9/2022
Fecha de rotura	27/10/2022	27/10/2022	27/10/2022	27/10/2022
Edad del cilindro (días)	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	152,4	152,6	153	151,3
Diámetro 2 (mm)	151,9	151,2	151,8	152,1
Altura 1 (mm)	302,8	299,4	299	304
Altura 2 (mm)	304,6	300,8	300,4	303
Altura 3 (mm)	302	301,6	301,5	304
Masa (Kg)	11,20	11,29	11,27	11,30
Altura promedio	303,13	300,60	300,30	303,67
Diámetro promedio (mm)	152,15	151,90	152,40	151,70
Área (mm2)	18125,90	17969,26	18026,02	18086,99
Tipo de falla	5	5	5	5
Carga máx. (N)	458830	460940	448670	451634
Resistencia máxima (Kg/cm2)	258,13	261,57	253,81	254,63
Resistencia promedio	257,03			
Desviación estándar	3,56			
Resistencia característica	251,20			

Fuente: Propia

5.1.14 Resistencia a la flexión de viguetas (ASTM C 78)

Muestra sin modificar f´c= 240 Kg/cm2 (7 días de edad)

Tabla 5.23 Muestra sin modificar f´c= 240 Kg/cm2 (7 días de edad)

Obra:	Tesis Almeida	**Ensayado por:**	Almeida Andrés
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm2	**Calculado por:**	Almeida Andrés
Edad:	7 días	**Aprobado por:**	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	0%	**Fecha:**	6/10/2022

Muestra	**1**	**2**
Fecha de elaboración	29/10/2022	29/10/2023
Fecha de ensayo	6/10/2022	6/10/2022
Edad de la vigueta (días)	7	7
Longitud (mm)	539	543
Luz libre (mm)	450	450
Ancho (mm)	150	149
Altura (mm)	152	152
Masa (kg)	25,26	24,83
Carga máxima (N)	19151,6	18276,3
Módulo de rotura (Kg/cm2)	25,36	24,36
Módulo de rotura promedio	24,86	
Desviación estándar	0,70	
Resistencia característica	23,70	

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín

Muestra modificada con escamas 1% f´c= 240 Kg/cm2 (7 días de edad)

Tabla 5.24 Muestra modificada con escamas 1% f´c= 240 Kg/cm2 (7 días de edad)

Obra:	Tesis Almeida	**Ensayado por:**	Almeida Andrés
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm2	**Calculado por:**	Almeida Andrés
Edad:	7 días	**Aprobado por:**	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	1%	**Fecha:**	6/10/2022

Muestra	1	2
Fecha de elaboración	29/10/2022	29/10/2023
Fecha de ensayo	6/10/2022	6/10/2022
Edad de la vigueta (días)	7	7
Longitud (mm)	539	543
Luz libre (mm)	450	450
Ancho (mm)	150	149
Altura (mm)	152	152
Masa (kg)	25,26	24,83
Carga máxima (N)	19528	20480
Módulo de rotura (Kg/cm2)	25,86	27,30
Módulo de rotura promedio	26,58	
Desviación estándar	1,02	
Resistencia característica	24,91	

Fuente: Propia

Muestra modificada con escamas 2% f´c= 240 Kg/cm2 (7 días de edad)

Tabla 5.25 Muestra modificada con escamas 2% f´c= 240 Kg/cm2 (7 días de edad)

Obra:	Tesis Almeida	**Ensayado por:**	Almeida Andrés
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm2	**Calculado por:**	Almeida Andrés
Edad:	7 días	**Aprobado por:**	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	2%	**Fecha:**	6/10/2022

Muestra	7	8
Fecha de elaboración	29/10/2022	29/10/2023
Fecha de ensayo	6/10/2022	6/10/2022
Edad de la vigueta (días)	7	7
Longitud (mm)	540	545
Luz libre (mm)	450	450
Ancho (mm)	150	150
Altura (mm)	152	150
Masa (kg)	23,38	23,18
Carga máxima (N)	18891	19435
Módulo de rotura (Kg/cm2)	25,01	26,42
Módulo de rotura promedio	25,72	

Desviación estándar	1,00
Resistencia característica	24,08

Fuente: Propia

Ensayos de Hormigón a los 28 días

Muestra sin modificar f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Tabla 5.26 Muestra sin modificar f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Obra:	Tesis Almeida	**Ensayado por:**	Almeida Andrés
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm2	**Calculado por:**	Almeida Andrés
Edad:	28 días	**Aprobado por:**	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	0%	**Fecha:**	27/10/2022

Muestra	**3**	**4**	**5**	**6**
Fecha de elaboración	9/29/2022	9/29/2022	9/29/2022	9/29/2022
Fecha de ensayo	27/10/2022	27/10/2022	27/10/2022	27/10/2022
Edad de la vigueta (días)	28	28	28	28
Longitud (mm)	543	535	542	540
Luz libre (mm)	450	450	450	450
Ancho (mm)	153	152	152	152
Altura (mm)	150	152	151	151
Masa (kg)	27,10	27,20	27,30	27,20
Carga máxima (N)	28890	29010	30160	30350
Módulo de rotura (Kg/cm2)	38,51	37,91	39,93	40,18
Módulo de rotura promedio	39,13			
Desviación estándar	1,10			
Resistencia característica	37,33			

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín

Muestra modificada con escamas 1% f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Tabla 5.27 Muestra modificada con escamas 1% f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Obra:	Tesis Almeida	**Ensayado por:**	Almeida Andrés
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm2	**Calculado por:**	Almeida Andrés
Edad:	28 días	**Aprobado por:**	Geosoil Cía. Ltda.

% escamas:	1%	**Fecha:**	27/10/2022

Muestra	**3**	**4**	**5**	**6**
Fecha de elaboración	9/29/2022	9/29/2022	9/29/2022	9/29/2022
Fecha de ensayo	27/10/2022	27/10/2022	27/10/2022	27/10/2022
Edad de la vigueta (días)	28	28	28	28
Longitud (mm)	540	535	542	540
Luz libre (mm)	450	450	450	450
Ancho (mm)	150	152	152	152
Altura (mm)	150	152	151	151
Masa (kg)	26,10	26,20	26,40	25,90
Carga máxima (N)	31477	31100	32001	30998
Módulo de rotura (Kg/cm2)	42,80	40,64	42,37	41,04
Módulo de rotura promedio	41,71			
Desviación estándar	1,03			
Resistencia característica	40,01			

Fuente: Propia

Muestra modificada con escamas 2% f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Tabla 5.28 Muestra modificada con escamas 2% f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Muestra	**9**	**10**	**11**	**12**
Fecha de elaboración	9/29/2022	9/29/2022	9/29/2022	9/29/2022
Fecha de ensayo	27/10/2022	27/10/2022	27/10/2022	27/10/2022
Edad de la vigueta (días)	28	28	28	28
Longitud (mm)	542	543	542	543
Luz libre (mm)	450	450	450	450
Ancho (mm)	151	151	150	150
Altura (mm)	152	150	151	152
Masa (kg)	26,10	25,90	26,00	25,80
Carga máxima (N)	30899	31087	29987	30813
Módulo de rotura (Kg/cm2)	40,64	41,99	40,23	40,80
Módulo de rotura promedio	40,92			
Desviación estándar	0,75			
Resistencia característica	39,68			

Fuente: Propia

5.1.15 Módulo de elasticidad (ASTM C 469)

Muestra sin modificar f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Tabla 5.29 Muestra sin modificar f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Obra:	Tesis Almeida	**Ensayado por:**	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm2	**Calculado por:**	Gualle Carlos; Guayasamín Debbie
Edad:	28 días	**Aprobado por:**	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	0%	**Fecha:**	7/4/2022

Esfuerzo máx	Deformación Unitaria
Kg/cm2	mm/mm
0	0
14,42	0,00005326
28,84	0,00010208
43,26	0,00015534
57,68	0,00022191
72,11	0,00028848
86,53	0,00035505
100,95	0,0004305
115,37	0,00051039
129,79	0,00061247
144,21	0,00071899
158,63	0,00084325
173,05	0,0009764
187,47	0,00113174
201,9	0,00129151
216,32	0,0014646
230,74	0,00168651
245,16	0,00199718
250,33	0,00221909

Tabla 5.30 Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín

Tabla 5.31 Resultado módulo de elasticidad f'c=240 Kg/cm2 (0%)

Peso unitario (Ton/m3)	2,24
F'c (Kg/cm2)	250,33
Ecm (Mpa)	22593,509

Fuente: Propia

Muestra modificada con escamas 1% f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Tabla 5.32 Muestra modificada con escamas 1%f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Obra:	Tesis Almeida	**Ensayado por:**	Almeida Andrés
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm2	**Calculado por:**	Almeida Andrés
Edad:	28 días	**Aprobado por:**	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	1%	**Fecha:**	27/10/2022

Esfuerzo máx	Deformación Unitaria
Kg/cm2	mm/mm
0,00	0
15,13	0,0000507
30,26	0,0001056
45,39	0,0001479
60,52	0,0002070
75,65	0,0002619
90,78	0,0003253
105,91	0,0004013
121,04	0,0004901
136,17	0,0005872
151,30	0,0006886
166,42	0,0008153
181,55	0,0009505
196,68	0,0010899
211,81	0,0012251
226,94	0,0013941
242,07	0,0015631
257,20	0,0017743
272,33	0,0020236
287,46	0,0023090

Fuente: Propia

Tabla 5.33 Resultado módulo de elasticidad f'c=240 Kg/cm2 (1%)

Peso unitario (Ton/m3)	2,22
F'c Max (Kg/cm2)	287,46
Ecm (Mpa)	23946,720

Fuente: Propia

Muestra modificada con escamas 2% f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Tabla 5.34 Muestra modificada con escamas 2% f´c= 240 Kg/cm2 (28 días de edad)

Obra:	Tesis Almeida	**Ensayado por:**	Almeida Andrés
Esfuerzo esperado:	240 kg/cm2	**Calculado por:**	Almeida Andrés
Edad:	28 días	**Aprobado por:**	Geosoil Cía. Ltda.
% escamas:	2%	**Fecha:**	27/10/2022

Esfuerzo máx	Deformación Unitaria
Kg/cm2	mm/mm
0,00	0
15,18	0,0000556
30,35	0,0001159
45,53	0,0001623
60,71	0,0002272
75,88	0,0002875
91,06	0,0003570
106,23	0,0004405
121,41	0,0005379
136,59	0,0006445
151,76	0,0007558
166,94	0,0008949
182,12	0,0010433
197,29	0,0011963
212,47	0,0013446
227,65	0,0015301
242,82	0,0017156
258,00	0,0019474
273,17	0,0022210

Fuente: Propia

Tabla 5.35 Resultado módulo de elasticidad f'c=240 Kg/cm2 (2%)

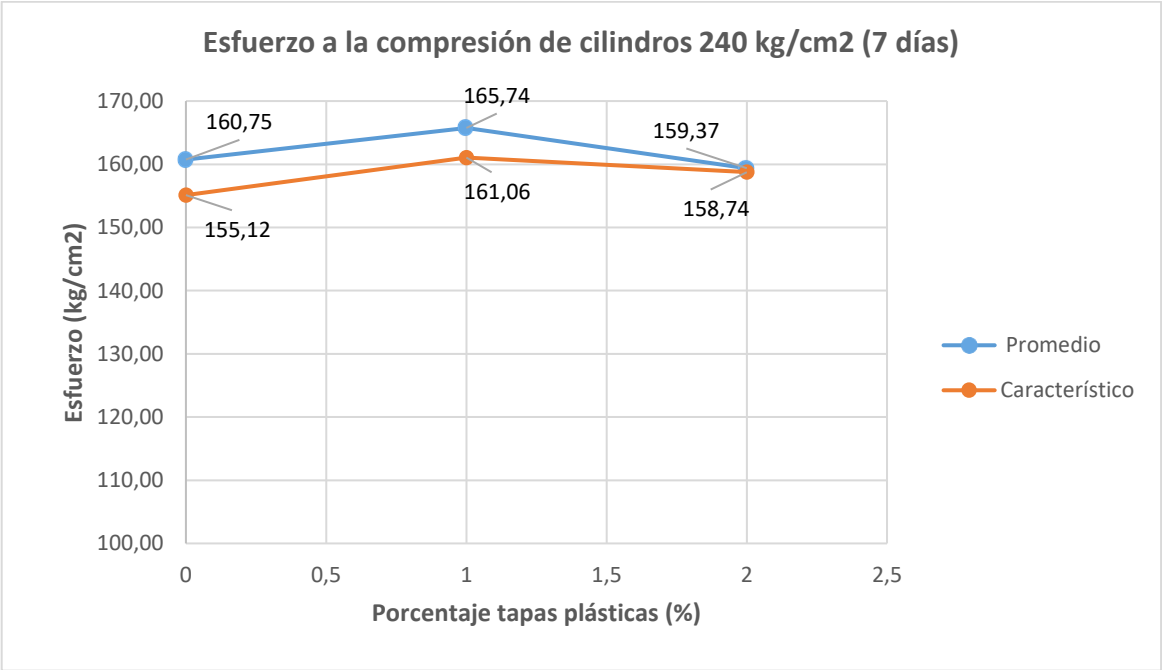
Peso unitario (Ton/m3)	2,20
F'c Max (Kg/cm2)	273,17
Ecm (Mpa)	23029,1759

Fuente: Propia

5.2 Análisis de resultados

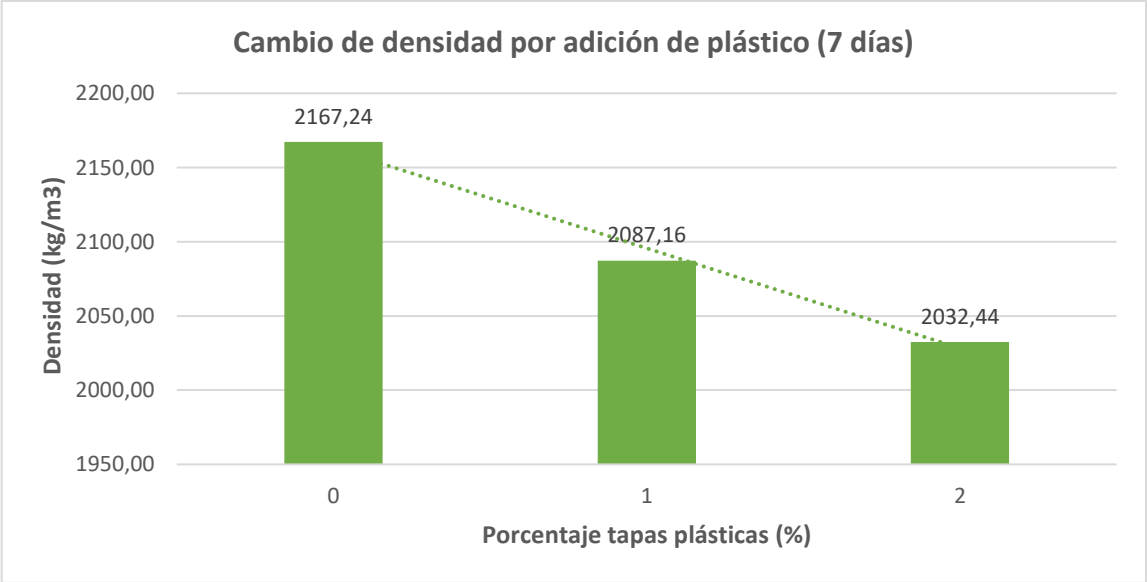
5.2.1 Resumen resistencia a la compresión de cilindros

Figura 5.3 Esfuerzo a la compresión de cilindros 240 Kg/cm2 (7 días)



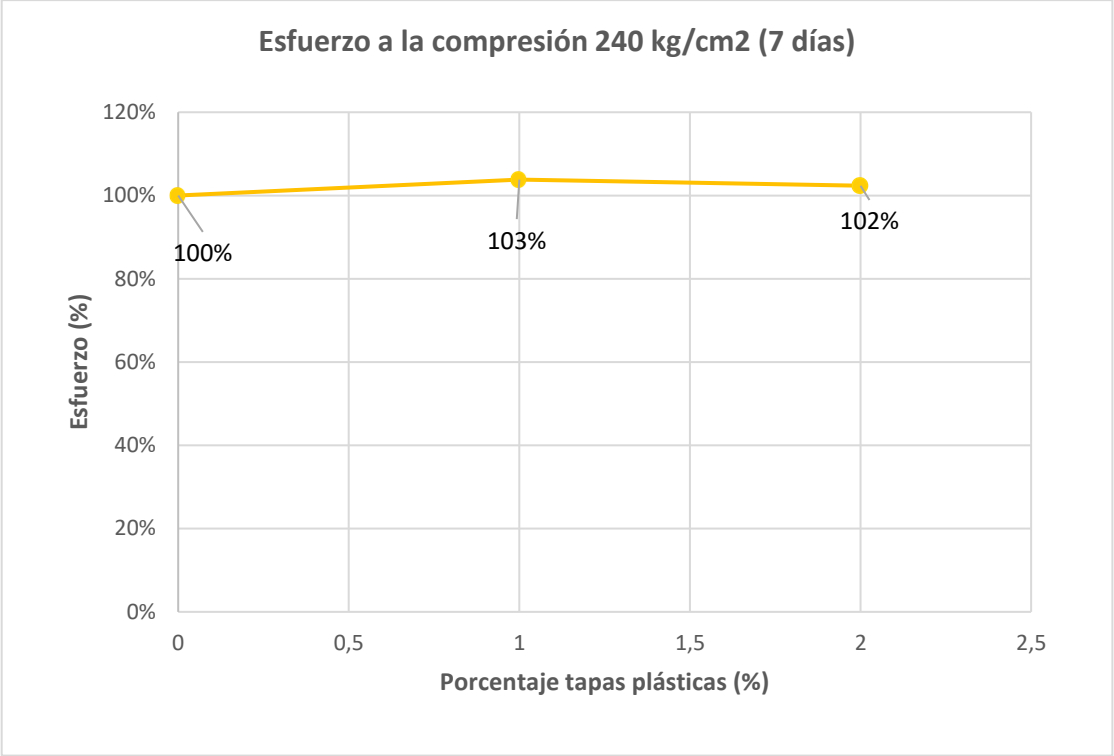
Fuente: Propia

Figura 5.4 Cambio de densidad por adición de escamas 240 Kg/cm2 (7 días)



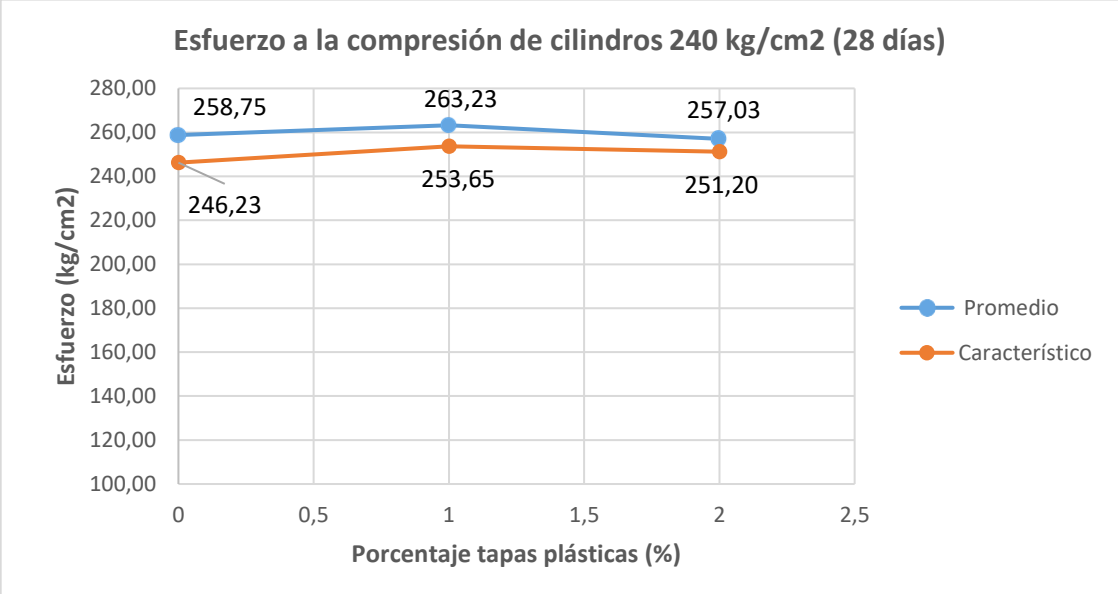
Fuente: Propia

Figura 5.5 Esfuerzo a compresión porcentaje 240 kg/cm2 (7 días)



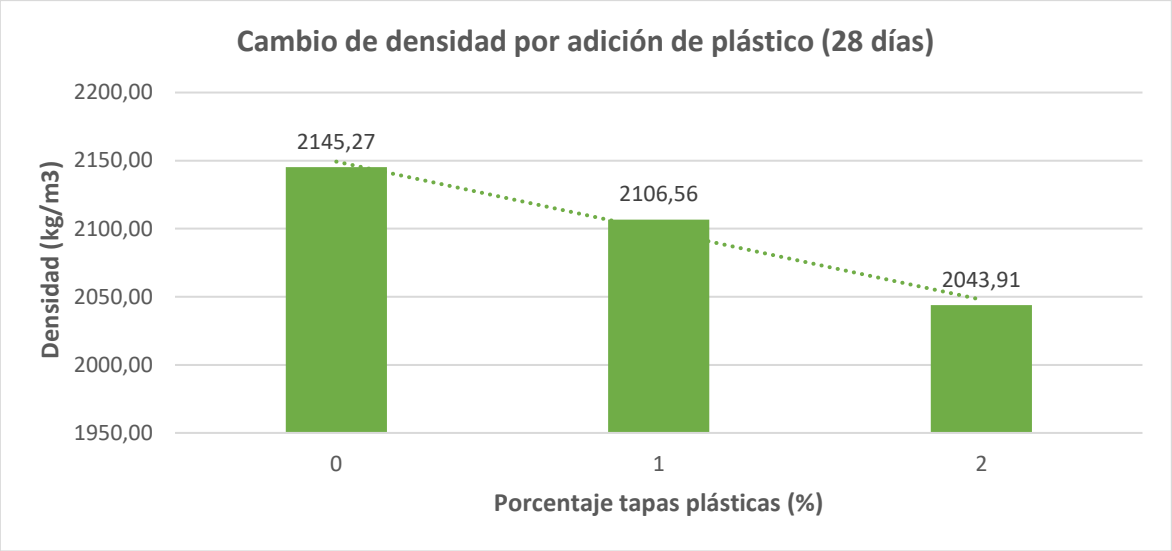
Fuente: Propia

Figura 5.6 Esfuerzo a la compresión de cilindros 240 Kg/cm2 (28 días)



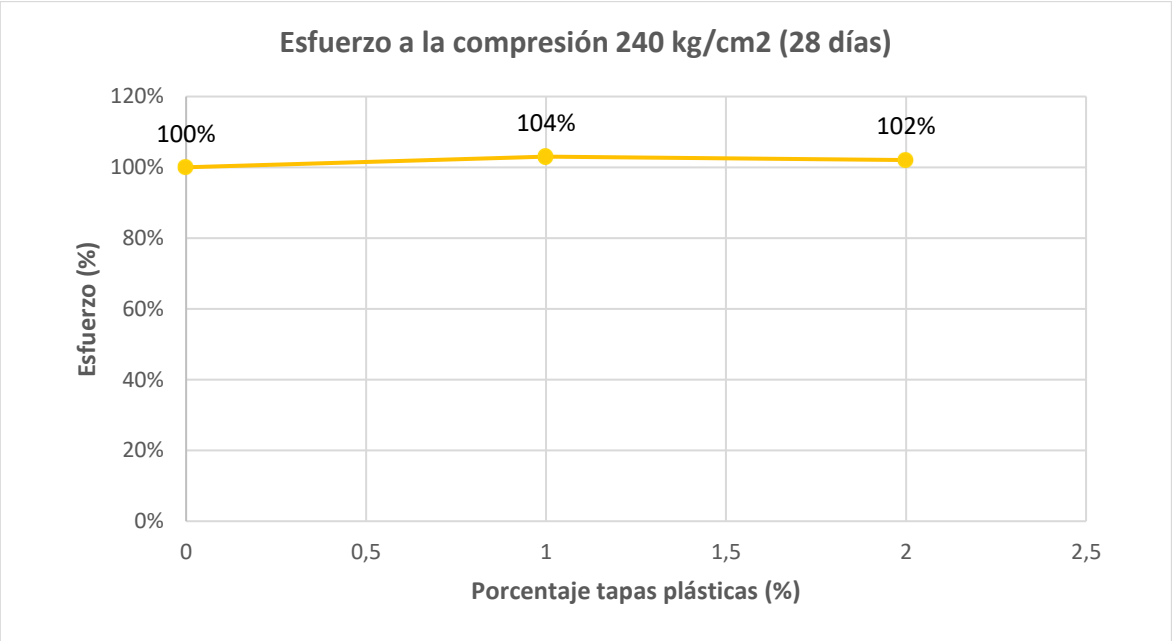
Fuente: Propia

Figura 5.7 Cambio de densidad por adición de escamas 240 Kg/cm2 (28 días)



Fuente: Propia

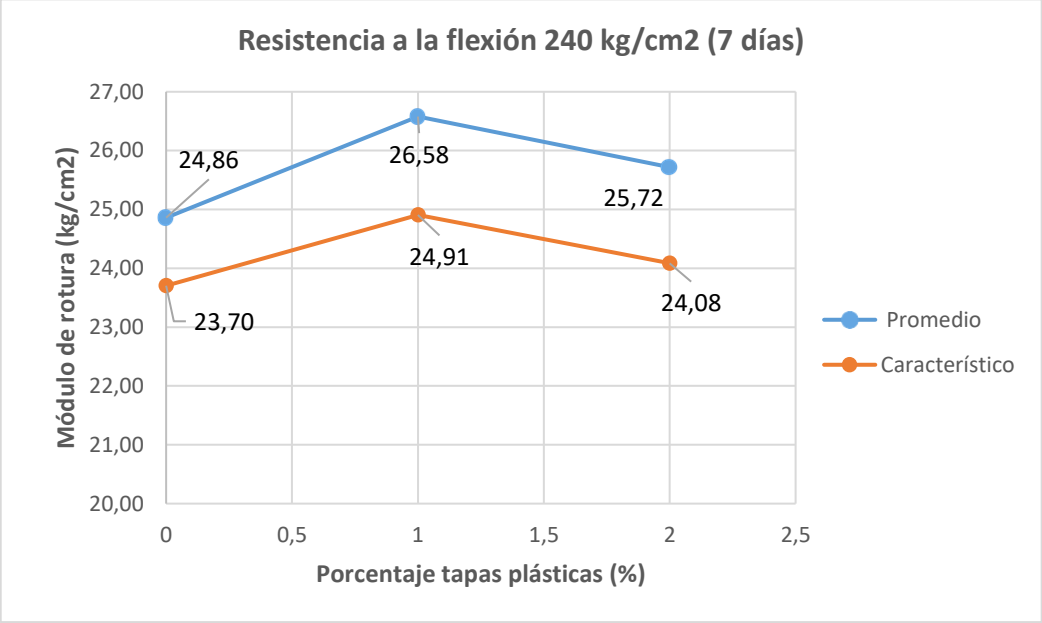
Figura 5.8 Esfuerzo a compresión porcentaje 240 kg/cm2 (28 días)



Fuente: Propia

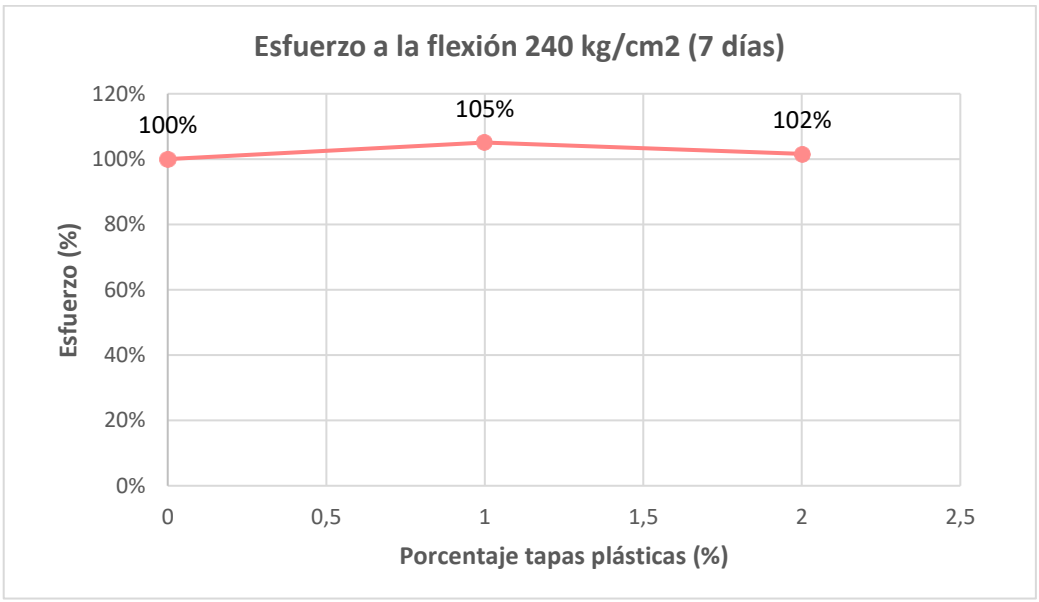
5.2.2 Resumen resistencia a la flexión de viguetas

Figura 5.9 Resistencia a flexión 240 Kg/cm2 (7 días)



Fuente: Propia

Figura 5.10 Esfuerzo a flexión porcentaje 240 kg/cm2 (7 días)



Fuente: Propia

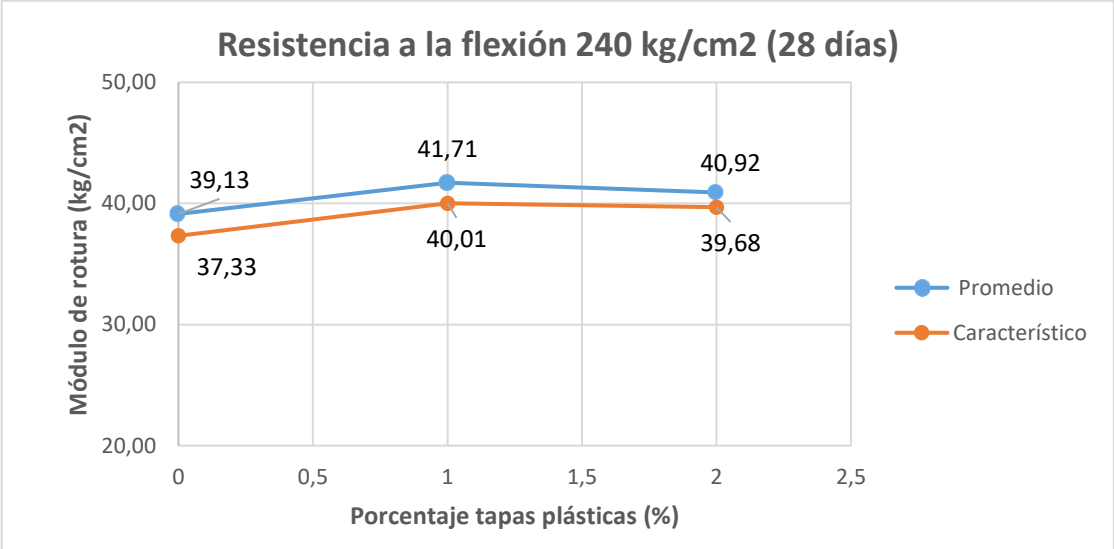
Tabla 5.36 Relación de flexión respecto a compresión (7 días)

Relación de flexión respecto a compresión (7 días)			
% escamas	**0**	**1**	**2**

F'c 240 Kg/cm2	15,28%	15,46%	15,17%

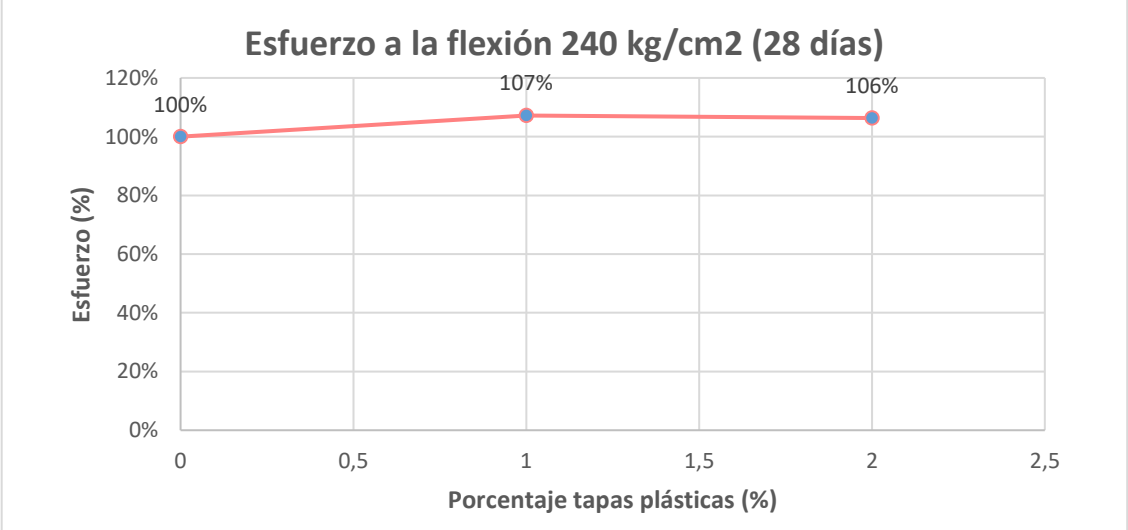
Fuente: Propia

Figura 5.11 Resistencia a flexión 240 Kg/cm2 (28 días)



Fuente: Propia

Figura 5.12 Esfuerzo a flexión porcentaje 240 kg/cm2 (28 días)



Fuente: Propia

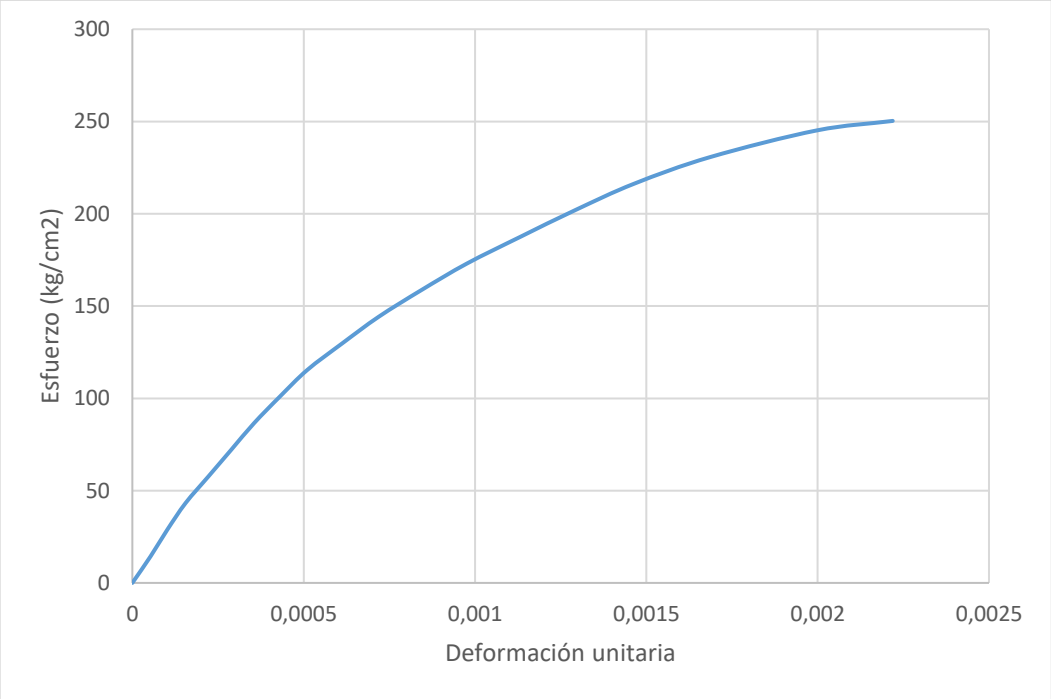
Tabla 5.37 Relación de flexión respecto a compresión (28 días)

Relación de flexión respecto a compresión (28 días)			
% escamas	**0**	**1**	**2**
F'c 240 Kg/cm2	15,16%	15,78%	15,80%

Fuente: Propia

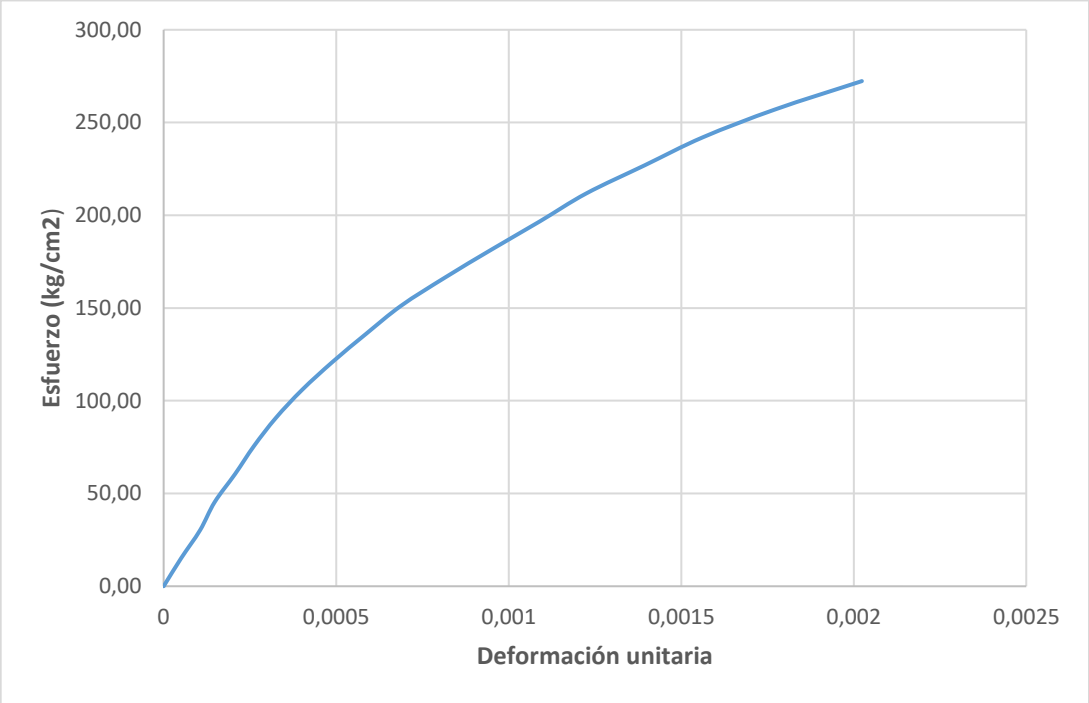
5.2.3 Resumen ensayo módulo de elasticidad (28 días)

Figura 5.13 Esfuerzo-Deformación unitaria f'c=240 Kg/cm2 (0%)



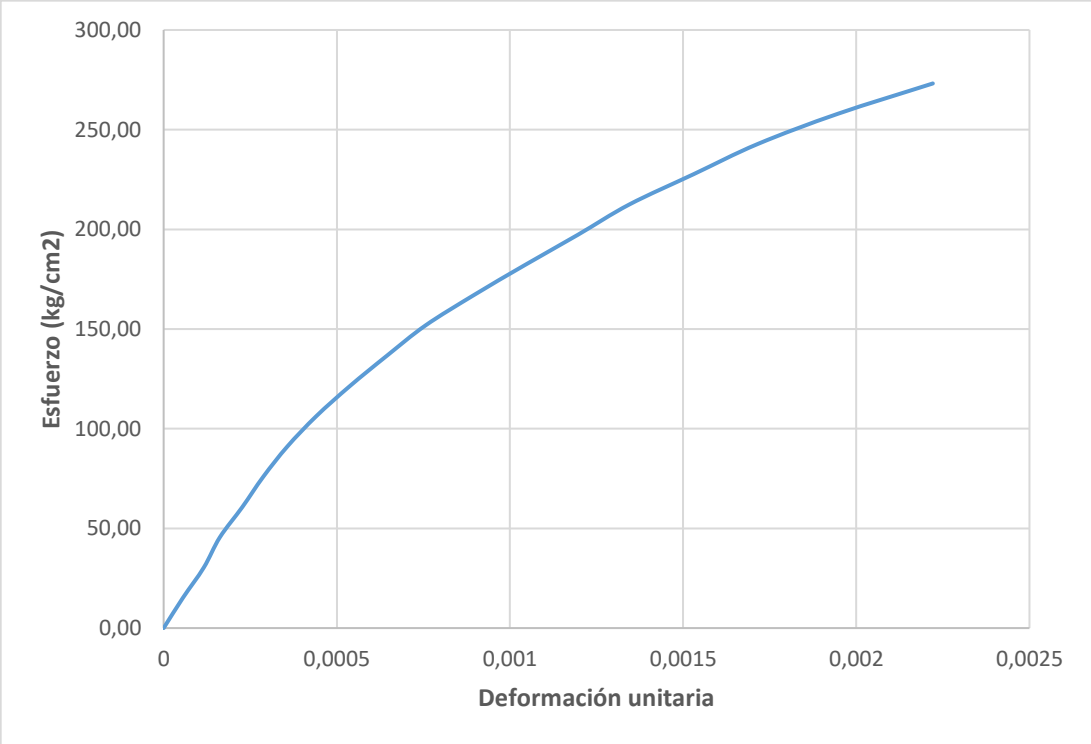
Fuente: Propia

Figura 5.14 Esfuerzo-Deformación unitaria f'c=240 Kg/cm2 (1%)



Fuente: Propia

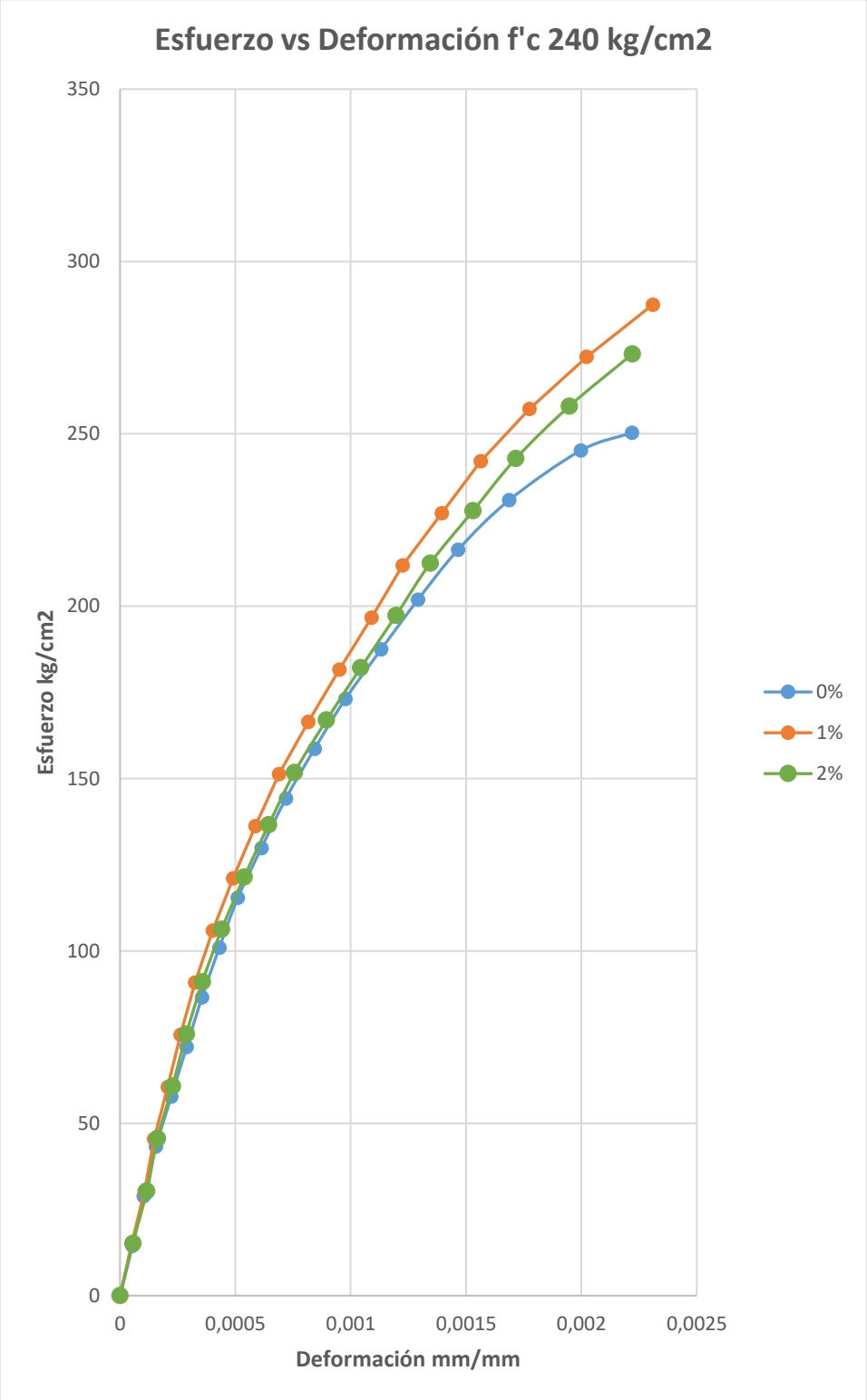
Figura 5.15 Esfuerzo-Deformación unitaria f'c=240 Kg/cm2 (2%)



Fuente: Propia

5.2.4 Resumen comparativo módulo de elasticidad

Figura 5.16 Resumen comparativo - Esfuerzo vs Deformación f'c=240 Kg/cm2



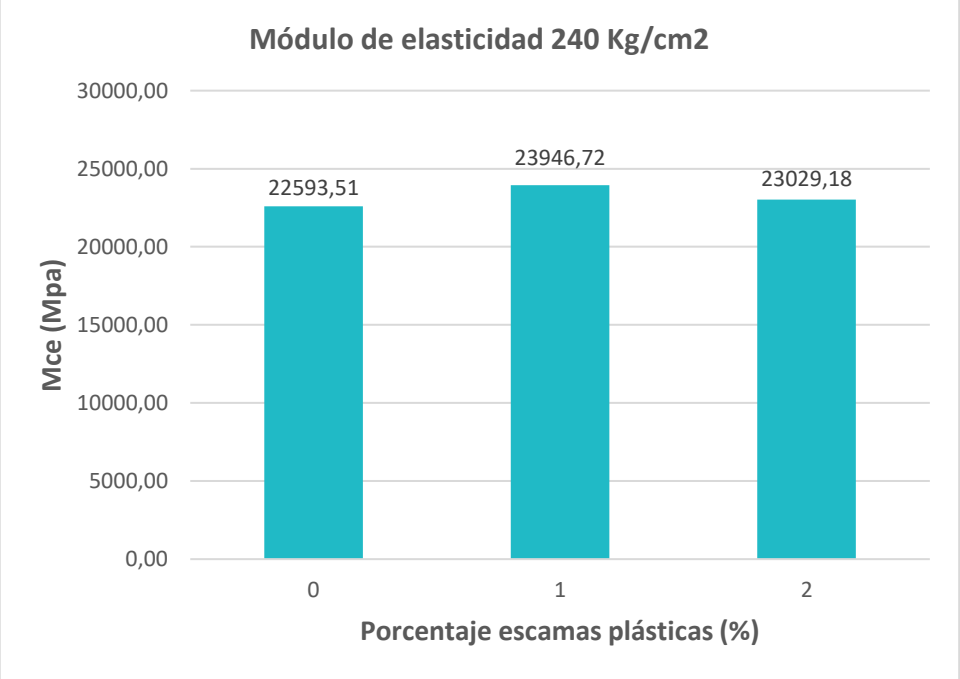
Fuente: Propia

Tabla 5.38 Resumen comparativo módulo de elasticidad f'c= 240 kg/cm2

Resumen comparativo del módulo de elasticidad		
Resistencia f´c	Porcentaje escamas (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
240 kg/cm2	0	22593,51
	1	23946,72
	2	23029,18

Fuente: Propia

Figura 5.17 Módulo de elasticidad 240 Kg/cm2



Fuente: Propia

CAPÍTULO 6.- Conclusiones y recomendaciones.

6.1 Conclusiones.

- Una vez realizados los ensayos de los agregados de la mina de Pintag, se puede concluir que son adecuados para la elaboración de concreto, debido a que estos cumplen con las especificaciones de la Norma NTE INEN 872 (2011), pese a que algunos valores como el agregado fino, el equivalente de arena y material más fino que pasa el tamiz N° 200 (Ver tabla 6.1) no cumplen con la normativa antes mencionada, pero esto no afecta en alto grado la fabricación del hormigón ya que los resultados obtenidos son cercarnos a los límites de la normativa.

Tabla 6.1 Resumen ensayos agregado fino

AGREGADO FINO				
PROPIEDADES	**VALOR**	**UNIDAD**	**PARÁMETRO**	**OBSERVACIÓN**
Material más fino que pasa el tamiz N°200	15,57	%	< 7%	No cumple
Equivalente de arena	82,42	%	≥ 90%	No cumple
Contenido orgánico	< 500	PPM	≤ 500	Cumple
Gravedad específica	2,49	-	N/A	N/A
Absorción	6	%	N/A	N/A
Peso unitario suelto	1340,9	kg/m3	N/A	N/A
Peso unitario compactado	1557,4	kg/m3	N/A	N/A
Desgaste a los sulfatos	6,18	%	≤ 10%	Cumple

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

- Con respecto a los ensayos realizados del agregado grueso obtenido de la Mina de la parroquia de Pintag podemos observar de acuerdo a la Tabla 6.2 que cumplen con lo que especifica la Norma NTE INEN 872 (2011) y es apropiado para su utilización.

Tabla 6.2 Resumen ensayos agregado grueso

AGREGADO GRUESO					
PROPIEDADES	**VALOR**		**UNIDAD**	**PARÁMETRO**	**OBSERVACIÓN**
Resistencia a la abrasión	28,27		%	≤ 50 %	Cumple
Gravedad específica	2,46	2,45	-	N/A	N/A
Absorción	2,32	2,87	%	N/A	N/A
Peso unitario suelto	1306,33	2,45	kg/m3	N/A	N/A
Peso unitario compactado	1424,5	1340,2	kg/m3	N/A	N/A
Desgaste a los sulfatos	1,23		%	≤ 12 %	Cumple

Fuente: Tesis Gualle & Guayasamín, 2022

De acuerdo a los ensayos realizados en el laboratorio de compresión de cilindros, flexión de viguetas y módulo de elasticidad a dosificaciones de hormigón de 240 Kg/cm2 agregando escamas plásticas trituradas como agregado fino al 1% y 2% respectivamente, en comparación con una mezcla sin alterar, se concluye lo siguiente:

- El hormigón esperado de f'c 240 kg/cm2 con el remplazo del 1% muestra una mejora en su resistencia característica a la compresión ensayado a los 7 días de 155,12 kg/cm2 a 161,06 kg/cm2 y a los 28 días de 246,53 kg/cm2 a 253,65 kg/cm2, por otro lado, al 2% la resistencia disminuye un poco con respecto al 1% y a medida que se aumenta el porcentaje de escamas plásticas la resistencia continúa disminuyendo. (Ver figuras 5.3 y 5.6).
- El hormigón de 240 kg/cm2 ensayado a los 28 días adicionando un 2% aumenta su resistencia a la compresión hasta un 2% y adicionando un 1% aumenta hasta un 4% lo que indica que, a menor adición de plástico la mezcla asimila mejor y nos brinda mejores resultados. (Ver figuras 5.5 y 5.8).
- De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de flexión ensayados a los 28 días, el hormigón de f'c esperado 240 Kg/cm2 aumenta su resistencia característica de 37.33 Kg/cm2 a 40.01 Kg/cm2 para el 1% y a 39.68 Kg/cm2 para el 2% lo que nos indica que la resistencia para estos porcentajes aumento, pero así

mismo se nota una disminución con forme se aumenta el porcentaje de tapas plásticas en la mezcla. (Ver gráficas 5.9 y 5.11).

- Adicionar un porcentaje de escamas plásticas a la mezcla de hormigón no modifica significativamente su resistencia a flexión, como se presenta en las Tablas 5.35 y 5.36, la relación de la resistencia a flexión con respecto la compresión se mantiene en un porcentaje entre 15 y 16 para el hormigón de f'c = 240 Kg/cm2 en todos los porcentajes adicionados.
- Con respecto al módulo de elasticidad que se obtiene en el hormigón de f´c esperado 240 kg/cm2 a los 28 días se registra un ligero aumento para el 1% y empieza a disminuir con el 2% de reemplazo lo que indica que el hormigón empieza a ser más flexible con forme se aumenta el polímero. (Ver tabla 5.37).
- A partir de los ensayos realizados se comprueba que la mezcla con el 1% de tapas plásticas trituradas garantiza un buen comportamiento ya que presenta mejoras en sus propiedades mecánicas, pero conforme se adiciona un mayor porcentaje de plástico las muestras empiezan a perder peso manteniendo el mismo volumen, lo que se traduce en una disminución de su densidad y rigidez.

6.2 Recomendaciones.

- Los hormigones con altos contenido de porcentaje plástico son una alternativa que puede ser empleada en elementos no estructurales, como bordillos, aceras u otros elementos que no soportan carga, también son una alternativa de hormigón estructural con dosificaciones que contengan porcentaje del 1% o menos en construcciones pequeñas que no tengan grandes luces, o proyectos de vivienda social.

- No se recomienda por el momento utilizar el hormigón con adición de tapas plásticas en estructuras de mayor importancia ya que no existen estudios del comportamiento de dicho hormigón con otros materiales como es el acero. Por otro lado, como se demostró que mientras se aumenta en porcentaje el plástico los módulos presentan valores más bajos provocando deformaciones mayores debido a que su rigidez disminuye.
- Se recomienda que en futuras investigaciones acerca de la adición de plástico en el hormigón se utilice un aditivo plastificante para de esta forma mejorar sus propiedades mecánicas cuando se utilicen porcentajes más altos de plástico.

BIBLIOGRAFÍA

American Society for Testing Materials. C117 – 13: Standard Test Method for Materials Finer than 75-um (No.200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing. Pensilvania, ASTM, 2009.

American Society for Testing Materials. C127 – 15: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. Pensilvania, ASTM, 2015.

American Society for Testing Materials. C128 – 15: Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. Pensilvania, ASTM, 2015.

American Society for Testing Materials. C131/C131M – 14: Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. Pensilvania, ASTM, 2014.

American Society for Testing Materials. C136/C136M – 14: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Pensilvania, ASTM, 2014.

American Society for Testing Materials. C188 – 14: Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. Pensilvania, ASTM, 2014.Aleaga, I., Gálvez, R., & Fernández, M. (1987). *Inventario vial de la provincia de Cotopaxi.* Quito: PUCE.

American Society for Testing Materials. C29/C29M – 09: Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. Pensilvania, ASTM, 2009.

American Society for Testing Materials. C39/C39M – 15a: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Specimens. Pensilvania, ASTM, 2015.

American Society for Testing Materials. C40/C40M – 11: Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete. Pensilvania, ASTM, 2011

American Society for Testing Materials. C88 – 13: Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate. Pensilvania, ASTM, 2013.

Giraldo Orlando. (2006). Dosificacion de mezclas de hormigón. metodos aci 211.1, weymouth, fuller, bolomey, faury. En *Slideshare*. Recuperado 12 de septiembre de 2022, de https://es.slideshare.net/AngelGamboa4/dosificacion-de-mezclas-de-hormigon-metodos-aci-2111-weymouth-fuller-bolomey-faury

Gualle, C., & Guayasamin, D. (s. f.). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE HORMIGONES DE F'c=240 kg/cm^2 Y F'c=280 kg/cm^2 ADICIONANDO POLÍMEROS (RESIDUOS DE TAPAS PLÁSTICAS TRITURADAS) UTILIZANDO CEMENTO SELVALEGRE Y ÁRIDOS DE LA MINA DE PINTAG* [Tesis de grado]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. (2010). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, Primera Edición,* Article NTE INEN 1 573:2010.

Hurtado, J. (2014). *DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA ENSAYANDO VIGAS DE HORMIGÓN*. Quito, Ecuador.

INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana n. (2010). NTE INEN 1573: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILINDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. Quito, Ecuador.

INEN. Instituto Ecuatoriano de Normalización, Norma Técnica Ecuatoriana n. (2011). NTE INEN 2554: HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN. (UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS). Quito, Ecuador.

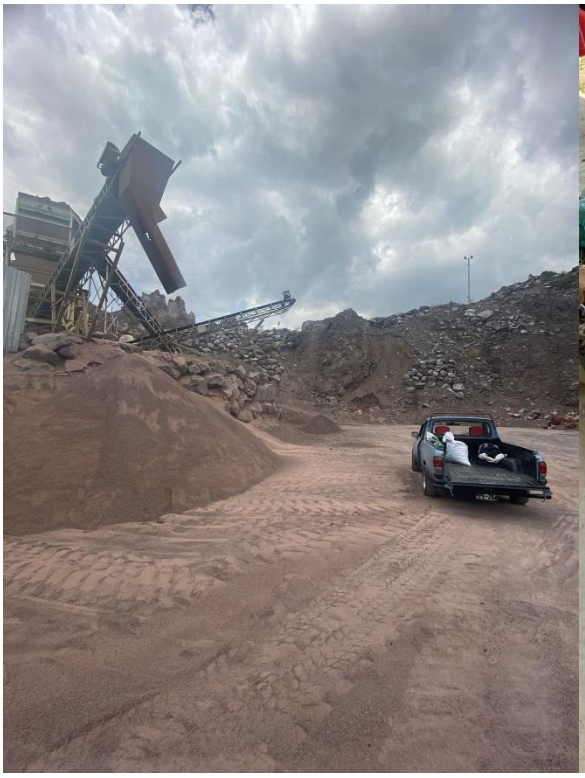
Perfil, V. T. M. (s. f.). *PRODUCCION DE ESCAMAS DE PET*. Tecnología de los Plásticos. Recuperado 9 de septiembre de 2022, de: https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/12/produccion-de-escamas-de-pet.html

Lara, L. (2018). *Curso de Laboratorio de hormigones PUCE.* Quito: PUCE.

Villareal, G., & Toro, E. (2019). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN ALIVIANADO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO CON RELACION A UN HORMIGÓN DE PESO NORMAL* [Tesis de grado]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

ANEXOS

Proceso de fabricación de muestras de hormigón









Comprobación calidad de hormigón In situ





Muestras con distintos % de tapas plásticas



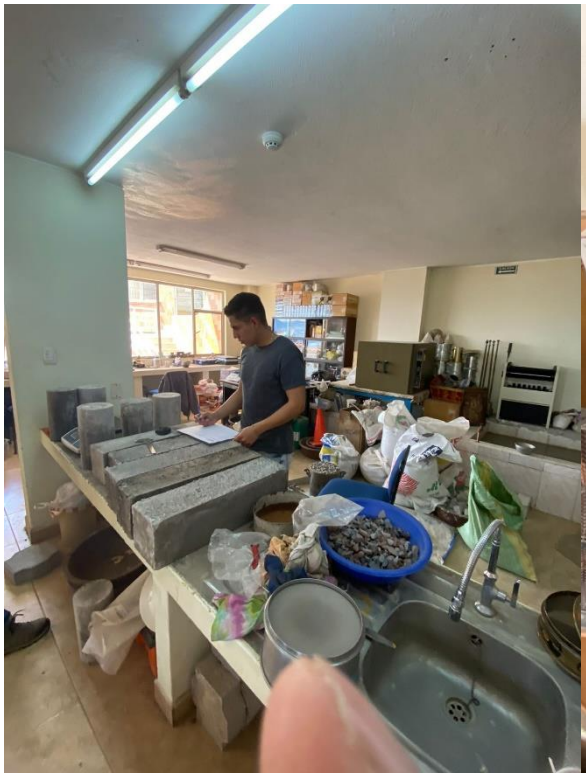








Ensayos de compresión y tracción (7 días)








HUMBOLDT





Ensayos de compresión, tracción y módulo de elasticidad (28 días)










HUMBOLDT







Registros de los datos obtenidos en el sitio con los diferentes ensayos

GEOSOIL Cía. Ltda.
TOPOGRAFÍA - GEOLOGÍA - GEOFÍSICA
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES
HOJA DE CAMPO:
DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN -
Superficies de Carga Pulidas o Sin Refrentar

ORDEN DE TRABAJO Nº:

Probeta Nº											OBSERVACIONES
Identificación	1	2	7	8	3	4	5	6	9		
Descripción	1%	1%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	2%		
Resistencia de diseño esperada a los 28 días MPa ☐ Kg/cm2 ☐											
Fecha de fabricación (día/mes/año)	29-09-22	29-09-22	29-09-22	29-09-22	29-09-22	29-09-22	29-09-22	29-09-22	29-09-22		
Fecha de ensayo (día/mes/año)	6-10-22	6-10-22	6-10-22	6-10-22	27-10-22	27-10-22	27-10-22	27-10-22	27-10-22		
Desviación de la Superficie de Carga (mm)											
Desviación al eje Transversal de la probeta(mm/100mm)											
Desviación al eje Longitudinal de la probeta(mm/100mm)											
Diámetro 1 (mm)	151,8	152,2	151	150,6	152	151,2	151,8	152,2	152,4		
Diámetro 2 (mm)	151	152	152,5	151	152,1	152,9	151,2	151,8	151,9		
Altura 1 (mm)	302	300	304	300	302	303	303	299,8	302,8		
Altura 2 (mm)	303	301	305	300	300	303,2	303,8	301	304,6		
Altura 3 (mm)	302	300	305	301	301	303,1	301,6	300	302		
Masa (Kg)	11,26	11,31	10,98	11,10	11,65	11,45	11,41	11,53	11,20		
Hora de ensayo (hh:mm)											
Carga máxima (N)	295818	288762	284015	277726	463253	458455	478670	456875	458830		
Tipo de falla	4	4	4	4	5	5	5	5	5		

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

	FIRMAS RESPONSABLES DE FISCALIZACIÓN DE ENSAYOS		
	FECHA	NOMBRE Y APELLIDO	FIRMA
PREPARA			
ENSAYA			
INFORME			

GEOSOIL Cía. Ltda.

Escaneado con CamScanner

Fuente: Propia

GEOSOIL Cía. Ltda.

CONSULTORÍA - GEOLOGÍA - GEOTÉCNIA - GEOFÍSICA
LABORATORIO DE SUELOS, HORMIGONES Y ASFALTOS

ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

HOJA DE CAMPO:

DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN -

Superficies de Carga Pulidas o Sin Refrentar

ORDEN DE TRABAJO Nº:

Probeta Nº											OBSERVACIONES
Identificación		10	11	12							
Descripción		2%	2%	2%							
Resistencia de diseño esperada a los 28 días MPa ☐ Kg/cm2 ☐											
Fecha de fabricación (día/mes/año)		29-09-22	29-09-22	29-09-22							
Fecha de ensayo (día/mes/año)		23-10-22	23-10-22	23-10-22							
Desviación de la Superficie de Carga (mm)											
Desviación al eje Transversal de la probeta(mm/100mm)											
Desviación al eje Longitudinal de la probeta(mm/100mm)											
Diámetro 1 (mm)		152,6	153	151,3							
Diámetro 2 (mm)		151,2	151,8	152,1							
Altura 1 (mm)		299,4	299	304							
Altura 2 (mm)		300,8	300,4	303							
Altura 3 (mm)		301,6	301,5	304							
Masa (Kg)		11,29	11,27	11,30							
Hora de ensayo (hh:mm)											
Carga máxima (N)		460940	448670	451634							
Tipo de falla											

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

PREPARA											
ENSAYA											
INFORME											

GEOSOIL Ltda

FIRMAS RESPONSABLES DE FISCALIZACIÓN DE ENSAYOS

FECHA	NOMBRE Y APELLIDO	FIRMA

Escaneado con CamScanner

Fuente: Propia

GEOSOIL

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS

Orden No. _____

Muestra No.	1	2	7	8	3	4	5	6	9	10	11	12
Identificación	1%	1%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	2%
Fecha de fabricación	29-08-22	29-09-22	29-09-22	24-10-22	29-09-22	29-09-22	29-09-22	29-09-22	29-09-22	29-09-22	29-09-22	29-09-22
Fecha de Ensayo	06-10-22	06-10-22	05-10-22	06-10-22	27-10-22	27-10-22	27-10-22	27-10-22	27-10-22	27-10-22	27-10-22	27-10-22
Longitud (mm)	539	543	540	545	540	535	542	540	542	543	542	543
Ancho (mm)	150	149	150	150	150	152	152	152	151	151	150	150
Altura (mm)	152	152	152	150	150	152	151	151	152	150	151	152
Longitud de apoyo (mm)	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
Masa (gr)	25.26	24,83	25,01	26,42	26,10	26,20	26,40	25,90	26,10	25,90	26,00	25,8
Carga Máxima (N)												

Firmas de responsabilidad

Prepara												
Ensaya												
Informe												

GEOSOIL Cía. Ltda.

Escaneado con CamScanner

Fuente: Propia