

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 del hormigón  $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$  con residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno), utilizando cemento Holcim y áridos de la mina de Holcim

AUTOR:

Alexis Israel Quishpi Eras

QUITO DM, 14 SEPTIEMBRE DE 2022

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación e importancia .....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	1
1.3 Objetivos.....	1
1.3.1 Objetivo general .....	1
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Alcance .....	2
CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	3
2.1 El hormigón de alta resistencia.....	3
2.1.1 Componentes del hormigón y clasificación del cemento en bases a la INEN .....	3
2.2 Clasificación del cemento en bases a la INEN .....	8
2.2.1 Normas que debe cumplir el hormigón con cemento.....	10
2.2.2 Resistencia del hormigón. ....	11
2.3 Plásticos PET (tereftalato de polietileno) .....	12
2.3.1 Características generales .....	13
2.3.2 Propiedades .....	13
2.3.3 Aplicaciones de su utilización.....	14
2.3.4 Descripción y origen de los materiales .....	14
CAPÍTULO III: ENSAYOS DE LABORATORIO DE LOS AGREGADOS .....	16
3.1 Granulometría Agregado Grueso.....	16
3.2 Granulometría Agregado Fino.....	18
3.3 Ensayos de peso unitario .....	19
3.4 Ensayos de gravedad específica .....	20
3.5 Ensayo de Tamiz #200. ....	21
3.6 Ensayo de Contenido Orgánico .....	22
3.7 Abrasión ASTM C131 .....	22
CAPÍTULO IV: DISEÑO Y ENSAYOS DE LABORATORIO DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN ..	23
4.1 Cálculo de la dosificación de los cilindros y vigas con los diferentes porcentajes de botella triturada en la mezcla.....	23
4.1.1 Muestra inicial 0.00% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno).....	23
4.1.2 0.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno).....	24
4.1.3 1.0% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno).....	24
4.1.4 1.5 % de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno).....	24

4.2	Diseño de los cilindros y vigas con los diferentes porcentajes de botella triturada en la mezcla .....	25
4.2.1	Procedimiento de obtención de vigas y los cilindros .....	26
4.3	Asentamiento .....	27
4.3.1	Procedimiento.....	27
4.4	Desencofrado de las muestras.....	28
4.5	Curado de las muestras .....	29
	CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	30
5.1	Resistencia a la compresión.....	30
5.1.1	Ensayo de compresión a los 7 días en los cilindros .....	30
5.1.2	Esquema de los modelos típicos de fractura .....	30
5.1.3	Ensayo de compresión a los 28 días en los cilindros .....	33
5.2	Resistencia a la flexión .....	36
5.2.1	Ensayo de flexión a los 7 días en vigas .....	36
5.2.2	Ensayo de flexión a los 28 días en vigas .....	39
5.3	Módulo de elasticidad del hormigón .....	42
5.3.1	Cilindro con 0.00% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno) .....	44
5.3.2	Cilindro con 0.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno) .....	45
5.3.3	Cilindro con 1.0% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno) .....	46
5.3.4	Cilindro con 1.5 % de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno) .....	47
5.4	Ensayo de tensión en muestras cilíndricas de hormigón .....	49
5.5	Análisis de resultados .....	51
	CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	53
6.1	Conclusiones.....	53
6.2	Recomendaciones .....	54
	BIBLIOGRAFÍA .....	55
	ANEXOS .....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Datos técnicos del cemento Holcim Fuerte, Tipo Gu .....	4
Figura 2.2. Resistencia a la compresión en cubos de mortero .....	5
Figura 2.3. Tamaño de partículas agregado grueso .....	6
Figura 2.4. Tamaño de partículas agregado fino .....	7
Figura 2.5 Clasificación del cemento .....	10
Figura 2.6. Datos Técnicos de PET .....	13
Figura 2.7 Planta de agregados Holcim .....	14
Figura 2.8. Empresa “Enkador” .....	15
Figura 3.1. Escala de colores de contenido orgánico .....	22
Figura 5.1 Modelos típicos de fractura .....	30
Figura 5.8. Muestras de cilíndricas de hormigón- Ensayo de tensión .....	50

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2.2</b> Planta de agregados Pifo .....	14
<b>Ilustración 2.3</b> Residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno).....	15
<b>Ilustración 4.1</b> Material empleado en la realización de cilindros y vigas de hormigón .....	25
<b>Ilustración 4.2</b> Desarrollo de los cilindros y vigas con los diferentes porcentajes de botella triturada en la mezcla.....	26
<b>Ilustración 4.4</b> Temperatura de la mezcla sin residuos de envase de botella .....	27
<b>Ilustración 4.3</b> Asentamiento de la mezcla sin residuos de envase de botella.....	27
<b>Ilustración 4.6</b> Proceso de desencofrado de las muestras (cilindros) .....	28
<b>Ilustración 4.5</b> Proceso de desencofrado de las muestras (vigas .....	28
<b>Ilustración 4.7</b> Curado de las muestras (cilindros y vigas) con y sin residuos de botellas PET .....	29
<b>Ilustración 5.2</b> Ensayo de compresión.....	35
<b>Ilustración 5.3</b> Maquina de ensayo (mecánica).....	35
<b>Ilustración 5.5</b> Ensayo para determinar el módulo de elasticidad del hormigón.....	42
<b>Ilustración 5.6</b> Compresómetro para hormigón.....	42
<b>Ilustración 5.7</b> Ensayo de tensión en muestras cilíndricas de hormigón .....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación del cemento .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 3.1 Parámetros granulométrico Agregado grueso - ASTM C 136.....	16
Tabla 3.2 Límites de granulometría en base a la normativa ASTM C 136.....	16
Tabla 3.3. Análisis granulométrico A. FINO - ASTM C 136.....	18
Tabla 3.4. Límites granulométrico A. FINO - ASTM C 136.....	18
Tabla 3.5. Peso unitario del agregado grueso.....	19
Tabla 3.6. Peso unitario del agregado fino.....	20
Tabla 3.7 Gravedad específica agregado grueso .....	20
Tabla 3.8 Gravedad específica agregado Fino .....	21
Tabla 3.9. Mina de Holcim (localización “Pifo”) .....	21
Tabla 3.10 Contenido Orgánico .....	22
Tabla 3.11 Parámetros Abrasión ASTM C131 .....	23
Tabla 4.1 Primera dosificación-Muestra inicial .....	23
Tabla 4.2. Segunda dosificación 0.5% .....	24
Tabla 4.3. Tercera dosificación 1.0% .....	24
Tabla 4.4. Cuarta dosificación 1.0% .....	24
Tabla 4.5. Total, de vigas y cilindros de las cuatro dosificaciones con los diferentes porcentajes .....	24
Tabla 4.6 Número de sacos empleados .....	25
Tabla 5.1 Ensayo de compresión (cilindros)-a los 7 días.....	31
Tabla 5.2 Ensayo de compresión (cilindros)- a los 28 días.....	33
Tabla 5.3. Ensayo de flexión (vigas)- a los 7 días.....	37
Tabla 5.4 Ensayo de flexión (vigas con residuos de envases de botella PET)-28 días.....	39
Tabla 5.5. Datos empleados en el módulo de elasticidad con cilindros de hormigón .....	43
Tabla 5.6 Lectura de deformación en cilindros con 0.00% de residuos de envases de botella PET.....	44
Tabla 5.7. Lectura de deformación en cilindros con 0.5% de residuos de envases de botella PET .....	45
Tabla 5.8. Lectura de deformación en cilindros con 1.0% de residuos de envases de botella PET .....	46
Tabla 5.9. Lectura de deformación en cilindros con 1.0% de residuos de envases de botella PET .....	47
Tabla 5.10. Calculo esfuerzo de tensión .....	49
Tabla 5.11 Ensayos a los agregados finos y gruesos.....	51
Tabla 5.12 Ensayo de compresión a cilindros de hormigón .....	52
Tabla 5.13 Ensayo de esfuerzo de tensión a cilindros de hormigón .....	52

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 Curva granulométrica -agregado grueso .....	17
Gráfico 3.2. Curva granulométrica- agregado fino .....	18
Gráfico 5.1 Resistencia de compresión a los 7 días .....	35
Gráfico 5.2 Resistencia de compresión a los 28 días .....	35
Gráfico 5.3. Módulo de rotura a los 7 días $kg/cm^2$ .....	41
Gráfico 5.4. Módulo de rotura a los 7 días MPA .....	41
Gráfico 5.5 Módulo de rotura a los 28 días MPA .....	41
Gráfico 5.6 Módulo de rotura a los 28 días $g/cm^2$ .....	41
Gráfico 5.7. Esfuerzo vs deformación.....	48
Gráfico 5.8. Esfuerzos de tensión a los 28 días.....	50

## ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 3.1 Promedio pasante del tamiz #200 .....	21
Fórmula 5.1 Módulo de rotura dentro del tercio medio .....	36
Fórmula 5.2 Módulo de rotura fuera del tercio medio .....	36
Fórmula 5.3. Módulo de elasticidad.....	42
Fórmula 5.4. Esfuerzo de tensión.....	49

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Medida del ER .....	59
Anexo 2. Medida del Eg .....	59
Anexo 3. %Ensayo de peso unitario_ %Agregado Grueso -ASTM C29 (Matlab).....	60
Anexo 4. %Ensayo de peso unitario_ %Agregado Fino-ASTM C29 (Matlab).....	61
Anexo 5. %Ensayo de gravedad específica _ %Agregado grueso-ASTM C29 (Matlab).....	61
Anexo 6. %Ensayo de gravedad específica _ Agregado Fino -ASTM C128 (Matlab) .....	62
Anexo 7. Abrasión ASTM C131 .....	62
Anexo 8. Matlab empleado para la gráfica esfuerzo – deformación.....	63
Anexo 9. Ensayo de caracterización de materiales .....	64
Anexo 10. Ensayo de caracterización de materiales II.....	65
Anexo 11. Hoja de campo-resistencia de materiales.....	66
Anexo 12. Hoja de campo-resistencia de materiales 0.5% PET .....	66
Anexo 13. Hoja de campo-resistencia de materiales 1.0% .....	67
Anexo 14. Hoja de campo-resistencia de materiales 1.5% .....	67
Anexo 15. Resistencia a la flexión de vigas muestra patrón.....	68
Anexo 16. Resistencia a la flexión de vigas 0.5% PET .....	68
Anexo 17. Resistencia a la flexión de vigas.....	69
Anexo 18. Resistencia a la flexión de vigas 1.5 % PET .....	69

# **1 INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Justificación e importancia**

En la industria de la construcción el hormigón es el material más utilizado debido a sus propiedades físicas y mecánicas, sin embargo, en esta última su resistencia a la flexión, la presencia de fisuras siempre ha sido un problema, es por ello que el refuerzo del hormigón es necesario para las distintas construcciones civiles. Debido a ello, surge la exploración de combinaciones de hormigón con componentes adicionales alternativos, que puedan crear elevada solidez en el hormigón.

Por lo antes mencionado es pertinente el desarrollo del presente trabajo, ya que analiza si al incluir envases triturados de botella PET en la mezcla se obtendrán mayores resistencias a la compresión simple del concreto.

La NEC (2014) establece que los hormigones que normalmente se emplean en el campo de la construcción se encuentran en un rango de 210 a 350 kg/cm<sup>2</sup>, es decir, cuanto mayor sea la resistencia del hormigón tendrá mayor ventaja y resistirá mayores cargas y su durabilidad será de mayor tiempo, razón por la cual es necesario conocer si agregando plástico PET como componente del hormigón puede lograr resistencias mínimas de 280 kg/cm<sup>2</sup>.

## **1.2 Planteamiento del problema**

En el actual estudio de integración curricular se investiga si la mezcla de agregados pétreos, cemento, plástico PET y agua logra resistencias adecuadas a la compactación sencilla del concreto. Para el efecto se harán pruebas experimentales mediante la medición de las características de funcionamiento de los compuestos pétreos y la solidez de la mezcla del hormigón. Cabe mencionar que se utilizará cemento Holcim y áridos de la mina de Holcim.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar el comportamiento de las propiedades mecánicas del hormigón  $f'_c=280$  kg/cm<sup>2</sup> con residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno), utilizando cemento Holcim y áridos de la mina de Holcim.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Realizar un resumen de los aspectos teóricos sobre materiales pétreos, cemento hidráulico y hormigones de alta resistencia.
- Realizar ensayos de laboratorio para definir las propiedades mecánicas y físicas de los materiales de la mina de Holcim.
- Diseñar las mezclas de hormigón y realizar los ensayos correspondientes de resistencia.
- Presentar y analizar los resultados arrojados al colocar envases de botella PET en diferentes porcentajes en la mezcla granular.

### **1.4 Alcance**

En el presente estudio se analizarán las cualidades mecánicas del hormigón, al añadir 4 diferentes porcentajes de plástico PET en la mezcla. Para esto se elaborarán 20 cilindros y 20 vigas hasta lograr resistencias de 280 kg/cm<sup>2</sup>. Para el análisis de la solidez a la compresión, se efectuarán pruebas de compactación sencilla, de modelo de flexibilidad y, además, una prueba a flexión. De esta manera, mediante estas valoraciones, se podrá determinar el porcentaje de plástico más beneficioso para la mezcla. No se analizará ningún porcentaje extra al ya delimitado en el objetivo general de esta investigación experimental.

## 2 CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1 El hormigón de alta resistencia

Es aquel que tiene propiedades mecánicas y durabilidad contra ataques químicos y patológicos, superiores al concreto convencional. Es producido por la adición de un compuesto mineral, ya sea micro silicio o nano silicio, y aditivos súper plastificantes. (Landázuri & Vásconez, 2019).

#### 2.1.1 Componentes del hormigón y clasificación del cemento en bases a la INEN

En la construcción se utilizan una amplia gama de diferentes materiales, entre los principales se encuentran el cemento, los áridos, el agua y los aditivos, los mismos que se detallan a continuación:

##### 2.1.1.1 El cemento.

Se denomina hidráulica y proviene de la aglomeración y unión de materiales ya que puede unir piezas y soportarse al contacto con el agua, en su fabricación se utilizan algunos compuestos, uno de ellos la cal (Jhayya, 2022).

Debido a sus propiedades cohesivas, el cemento tiene la función de acoplar los agregados en un solo cuerpo consolidado. Para llevar a cabo la investigación se escogieron cementos de la compañía HOLCIM ECUADOR SA, en particular el Holcim Premium Tipo HE, es un concreto de alta resistencia inicial, alto desempeño de las siglas “HE”, significa “alta resistencia temprana”, según NTE INEN 2380 y clasificados por desempeño, ver detalles en la Tabla 2.1:

**Tabla 2.1 Clasificación del cemento**

	Tipo	Descripción	Norma	
			INEN	ASTM
Por desempeño	GU	Uso en construcción general	2380	C1157
	HE	Elevada resistencia inicial	2380	C1157
	MS	Moderada resistencia a los sulfatos	2380	C1157
	MS	Alta resistencia a los sulfatos	2380	C1157
	MH	Moderado calor de hidratación	2380	C1157
	LH	Bajo calor de hidratación	2380	C1157

Fuente: (INECYC, 2011)

## Características del Cemento

Acorde con la ficha técnica de (Holcim Ecuador) se proporciona información acerca del cemento Holcim Premium Tipo GU (ver figura 1.), en el cual se describe detalladamente las siguientes propiedades:

- Es un cemento hidráulico creado con la más alta tecnología, innovación científica y emite las reducciones de CO2.
- Se lo emplea para la construcción de obras estructurales como: losas, plintos, columnas, vigas riostras y cadenas.
- Se lo usa en trabajos de albañilería en general en vías y pavimentos.
- Ideal para la elaboración de morteros para mampostería y pegado de bloques.

## Beneficios

- Como beneficios del cemento se puede destacar
- Mejora la trabajabilidad de la mezcla
- Buen desempeño del fraguado
- Resistencia adecuado y desempeño uniforme.

## Datos Técnicos

	INEN 2380	Valor referencial HOLCIM
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.8	0
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	45	45
Inicial, no más de, minutos	420	151
Contenido de aire mortero, en volumen, %	---	4
Resistencia a la compresión, mínimo MPa		
1 día	---	---
3 días	13	17
7 días	20	22
28 días	28	30
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0.02	0.001
Resistencia a sulfatos, 6 meses	---	---



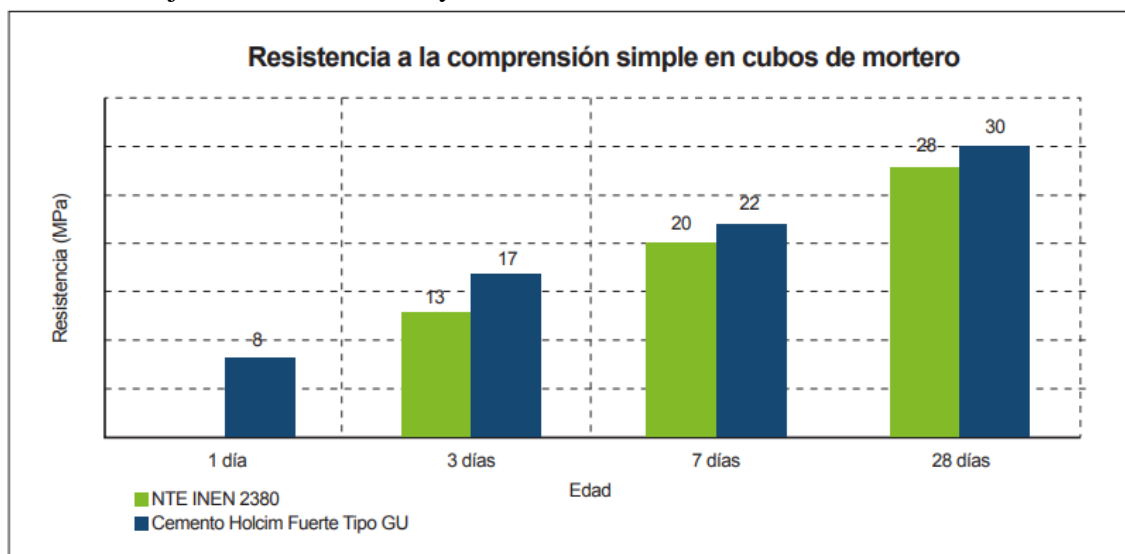
**Ilustración 2.1** Cemento empleado para la elaboración de los cilindros y vigas

**Figura 2.1** Datos técnicos del cemento Holcim Fuerte, Tipo Gu

Fuente: (Holcim Ecuador)

## Resistencia

El cemento Holcim fuerte es diseñado para realizar concretos, morteros y todo tipo de obra de construcción es recomendando su uso debido a que asegura que la mezcla sea más trabajable, más rendidora y desarrolle una menor tendencia a la fisuración.



\*Valores referenciales promedios de la producción

**Figura 2.2. Resistencia a la compresión en cubos de mortero**

Fuente: (Holcim Ecuador)

### Recomendaciones para su uso

- Utilizar agua, arena y grava libre de impurezas.
- Usar la mínima porción de agua aceptable según la trabajabilidad.
- El secado del concreto requiere realizarse adecuadamente para evitar caídas de resistencia, manteniendo húmedo la superficie del elemento durante al menos 7 días (Landázuri & Vásquez, 2019).

#### 2.1.1.2 Agregados (Áridos).

En general, se entiende por "áridos" las gravas y arenas de granulometría variable, que constituyen el esqueleto de partículas del hormigón, alrededor del 75% de su masa total, y determinan en gran medida las propiedades del hormigón (Herrería & Villegas, 2018).

- **Agregado Grueso**

De acuerdo con ACI Committee 211 (2017), el agregado pesado se usa en la producción de concreto porque el peso natural produce mejores resultados. Esto se debe al desgaste que provocan los vehículos pesados en las carreteras de máxima consistencia no se excluyen la magnitud referencial máxima, del hormigón es contrariamente adecuado al valor de dureza, es decir, a pequeñas dimensiones, la resistencia potencial que adquirirá el hormigón será mayor con la con textura del árido, que debe estar sin rupturas, impurezas superficiales y de suficiente dureza.

Con base en múltiples investigaciones sobre las propiedades de los agregados gruesos, se ha establecido que la magnitud de los fragmentos se requiere establecer en la categoría de ½” a ¾” por el mínimo esfuerzo producido en las partículas y el aumento de la resistencia eléctrica. Los agregados gruesos no deben ser demasiado angulares al momento de la trituración para evitar problemas de trabajabilidad y reducción de la relación agua-cemento (Landázuri & Vásquez, 2019).

Los agregados gruesos son aquellos en los que la mayoría de las partículas permanecen en el tamiz de 4,75 mm (No. 4), o agregados en los que parte del componente permanece en el tamiz de 4,75 mm (No. 4). La forma cúbica evita la elongación y la estratificación, los monolitos son esféricos y se evitan los granos planos (ACI Committee 211, 2017).

U.S.A. STANDARD SIEVES ASTM SPECIFICATION E-11						
Nominal Dimensions, Permissible Variations for Wirecloth of Standard Test Sieves (U.S.A.)						
Standard Series						
Sieve Designation	Nominal Sieve	Permissible	Opening	Maximum	Nominal Wire	
Standard (b)	Alternative	Opening, in. (see c below)	Variation of Average Opening from the Standard Sieve Designation	Dimension or Not More Than 5% of the Openings	Individual Opening	Diameter (mm) see a below
25.0 mm	1.00"	1	±.800 mm	26.1 mm	26.4 mm	3.55
22.4 mm	7/8"	0.875	±.700 mm	23.4 mm	23.7 mm	3.55
19.0 mm	3/4"	0.750	±.600 mm	19.9 mm	20.1 mm	3.15
16.0 mm	5/8"	0.625	±.500 mm	16.7 mm	17.0 mm	3.15
13.2 mm	.530"	0.530	±.410 mm	13.83 mm	14.05 mm	2.80
12.5 mm (d)	1/2"	0.500	±.390 mm	13.10 mm	13.31 mm	2.50
11.2 mm	7/16"	0.438	±.350 mm	11.75 mm	11.94 mm	2.50
9.5 mm	3/8"	0.375	±.300 mm	9.97 mm	10.16 mm	2.24
8.0 mm	5/16"	0.312	±.250 mm	8.41 mm	8.58 mm	2.00
6.7 mm	.265"	0.265	±.210 mm	7.05 mm	7.20 mm	1.80
6.3 mm (d)	1/4"	0.250	±.200 mm	6.64 mm	6.78 mm	1.80
5.6 mm	NO. 3 1/2(e)	0.223	±.180 mm	5.90 mm	6.04 mm	1.60
4.75 mm	NO. 4	0.187	±.150 mm	5.02 mm	5.14 mm	1.60

**Figura 2.3.** Tamaño de partículas agregado grueso

Fuente: (ASTM C31, 2008)

- **Agregado Fino**

El refinamiento del concreto de máxima dureza requiere al mismo tiempo de una gran porción de arena, la cual ayudará a obtener una adecuada trabajabilidad y propiedades de compactación del agregado. Se sugiere que el aspecto y contextura de los fragmentos sean redondas y lisas, distributivamente, para prevenir en lo factible la máxima incidencia de la proporción de agua usada en el conglomerado, lo que redundará en una reducción de la dureza a la compactación del concreto (López & Sepúlveda, 2019).

Los agregados finos son aquellos que atraviesan por medio de un tamiz de 9,5 mm (3/8 pulg.) y la mayoría pasa a través de un tamiz de 4,75 mm (No. 4) y permanecerán en su mayor parte en un tamiz de 75 micras (0,200), o Para una porción del agregado en el tamiz N° 200, la curva granulométrica debe cumplir con las etapas de la evaluación granulométrica (NTE , 2011).

U.S.A. STANDARD SIEVES ASTM SPECIFICATION E-11						
Nominal Dimensions, Permissible Variations for Wirecloth of Standard Test Sieves (U.S.A.)						
Standard Series						
Sieve Designation		Nominal Sieve	Permissible	Opening	Maximum	Nominal Wire
Standard (b)	Alternative	Opening, in. (see c below)	Variation of Average Opening from the Standard Sieve Designation	Dimension or Not More Than 5% of the Openings	Individual Opening	Diameter (mm) see a below
4.75 mm	NO. 4	0.187	±.150 mm	5.02 mm	5.14 mm	1.60
4.0 mm	NO. 5	0.157	±.130 mm	4.23 mm	4.35 mm	1.40
3.35 mm	NO. 6	0.132	±.110 mm	3.55 mm	3.66 mm	1.25
2.8 mm	NO. 7	0.110	±.095 mm	2.975 mm	3.070 mm	1.12
2.36 mm	NO. 8	0.0937	±.080 mm	2.515 mm	2.600 mm	1.00
2.0 mm	NO. 10	0.0787	±.070 mm	2.135 mm	2.215 mm	.900
1.7 mm	NO. 12	0.0661	±.060 mm	1.820 mm	1.890 mm	.800
1.4 mm	NO. 14	0.0555	±.050 mm	1.505 mm	1.565 mm	.710
1.18 mm	NO. 16	0.0469	±.045 mm	1.270 mm	1.330 mm	.630
1.0 mm	NO. 18	0.0394	±.040 mm	1.080 mm	1.135 mm	.560
850 µm (f)	NO. 20	0.0331	±35 µm	925 µm	970 µm	.500
710 µm	NO. 25	0.0278	±30 µm	775 µm	815 µm	.450
600 µm	NO. 30	0.0234	±25 µm	660 µm	695 µm	.400
500 µm	NO. 35	0.0197	±20 µm	550 µm	585 µm	.315
425 µm	NO. 40	0.0165	±19 µm	471 µm	502 µm	.280
355 µm	NO. 45	0.0139	±16 µm	396 µm	425 µm	.224
300 µm	NO. 50	0.0117	±14 µm	337 µm	363 µm	.200
250 µm	NO. 60	0.0098	±12 µm	283 µm	306 µm	.160
212 µm	NO. 70	0.0083	±10 µm	242 µm	263 µm	.140
180 µm	NO. 80	0.0070	±9 µm	207 µm	227 µm	.125
150 µm	NO. 100	0.0059	±8 µm	174 µm	192 µm	.100

**Figura 2.4. Tamaño de partículas agregado fino**

Fuente: (ASTM C31, 2008)

### **2.1.1.3 Agua.**

El agua debe obedecer todos los elementos parámetros físicos y químicos especificados en la normativa NTE INEN - 1108 para tener una reacción química suficiente con las partículas de cemento para que no se produzcan daños posteriores en el hormigón. El agua utilizada para preparar la mezcla tiene dos tareas sumamente imprescindibles, aprobar la hidratación de todos los fragmentos de argamasa y hacer manejable el mezclado en las etapas después de verterse situ (Landázuri y Vásquez, 2019).

Parte del agua utilizada para hacer concreto de máxima dureza se evaporará con el paso del tiempo, mientras que una porción se hidratará con la argamasa; al acercarse las partículas del cemento hidratado 13, como se muestra en la Figura 2-4, se crean menos poros capilares, dificultando así la circulación del agua, ayudando la creación de agregados hidratados más comprimidos entre los factores de argamasa (INECYC, 2011).

### **2.1.1.4 Aditivos.**

La aplicación de compuestos químicos o minerales en la producción del concreto puede alterar y aumentar sus cualidades o peculiaridades de acuerdo a los requerimientos ya establecidos para alguna clase de infraestructura. Se encuentran diversos aditivos en el comercio, sin embargo, para poder desarrollar concretos de máxima dureza, estos requieren tener plasticidad o súper plasticidad, de acuerdo a que la reducción de agua aumenta la dureza del concreto, lo que al mismo tiempo incrementa su facilidad de uso del concreto en estado fresco (Construmat, 2018).

## **2.2 Clasificación del cemento en bases a la INEN**

El material utilizado para hacer cemento se pulveriza y luego se cuece a 1.350°. Al respecto, el Instituto Ecuatoriano de Cemento y Hormigón (2011) describe una serie de tipos de cemento según la norma INEN 2380-ASTM C1157, clasificándolos en diferentes usos, ya sea para la construcción en general (GU), o para otros, por la alta resistencia (HE) al principio, o quizás por la moderada resistencia al sulfato (HS), y por la moderada temperatura de hidratación (MH), y también por la baja temperatura de hidratación (LH), parámetros que se puntualizan a continuación:

Según lo definido por la métrica de absorción de humedad, o MH, el material también presenta un bajo calor de hidratación, o LH. Los datos se pueden visualizar en la figura 5:

Clasificación	Características	
<b>Cementos con inclusor de aire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Especificación: ASTM C175.</li> <li>• Tipos: I A, II A, III A.</li> <li>• Partículas mezcladas con la escoria.</li> <li>• Resistencia: helada, descamación.</li> <li>• Aplicación: Nivel-hielo.</li> <li>• Posee burbujas de aire.</li> </ul>	
<b>Cemento blanco</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Especificación: ASTM C150 - 175.</li> <li>• Tipos: cemento portland.</li> <li>• Color blanco.</li> <li>• Fabricación: Materia prima con bajos niveles de óxido, hierro y magnesio.</li> </ul>	
<b>Cemento Portland de escoria de altos hornos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Especificación: ASTM C595.</li> <li>• Resistencia: Bajo calor de hidratación y moderada resistencia a sulfatos.</li> </ul>	
<b>hornos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricación: Escoria granulada mezclada con portland</li> </ul>	
<b>Cementos puzolánicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Especificación: ASTM C95.</li> <li>• Fabricación: Mezcla escoria del cemento portland y puzolana.</li> </ul>	
<b>Cementos para mampostería</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación: Estructuras hidráulicas</li> <li>• Pilas de puentes y presas.</li> <li>• Especificación: ASTM C91 o SA A8.</li> <li>• Fabricación: Mezcla cemento portland y aditivos.</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación: retener agua en morteros.</li> </ul>	

<b>Cemento para pozos de petróleo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Especificación: API Standard 10.</li> <li>• Aplicación: impermeabilizar pozos.</li> <li>• Resistencia: Temperatura y presión.</li> </ul>	
<b>Cemento impermeabilizado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• - Es fraguado.</li> <li>• Especificación: API Standard 10.</li> <li>• Fabricación: Mezcla estearato de calcio, aluminio con escoria del cemento portland.</li> </ul>	
<b>Cemento plástico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Color: blanco o gris.</li> <li>• Fabricación: Agentes plastificantes.</li> <li>• Nivel máximo de plastificantes: 12%</li> <li>• Para el nivel de plastificante se considera del volumen total</li> </ul>	

**Figura 2.5 Clasificación del cemento**

Fuente (Jhayya, 2022)

Es necesario explicar la importancia de las diversas normas ASTM y API en la construcción con cemento, las cuales dependen del tipo de uso de este importante material primario para el sector de la construcción y el propio campo de la ingeniería civil.

### 2.2.1 Normas que debe cumplir el hormigón con cemento

Para obtener hormigón de alta resistencia, los criterios que se deben cumplir son:

- Argamasa, en consideración a las sugerencias técnicas de acuerdo a las normas NTE INEN 155, 156, 157, 158.
- Compuesto fino, debe obedecer con el tamaño de partícula mejorado en la norma ASTM C33. Los agregados gruesos deben cumplir con el tamaño nominal máximo y el tamaño de partícula apropiado sugerido en la norma ACI 211 4R-93.
- Agua, debe obedecer los factores de calidad especificados en la norma NTE INEN 1108.
- Nano silicio, debe dar cumplimiento con la totalidad de las recomendaciones técnicas señaladas del fabricante.
- El compuesto súper plastificador, el cual debe dar cumplimiento con la combinación recomendada por el fabricante y permitir que la lechada mezclada

tenga la correcta trabajabilidad y adecuada relación agua/cemento (Landázuri & Vásconez, 2019).

## **2.2.2 Resistencia del hormigón.**

### **2.2.2.1 Propiedades Mecánicas del Hormigón.**

Las principales propiedades estructurales del concreto es su facultad para aguantar fatigas de compactación. En cambio, tiene resistencias a la fricción y cortes aproximadamente bajos y debe utilizarse con esfuerzos de tracción o de corte muy bajos. Para exceder este defecto, el concreto se puede fortificar mediante la inserción de barras de metal, conocidos como concreto armado, y se pueden emplear energía de cortes y tracción a las barras de acero. Al igual que es común el refuerzo de áreas o elementos de compresión con barras de acero, como columnas (Riva, S.f.).

### **2.2.2.2 Resistencia a la compresión ( $f_c$ ).**

En el concreto, la cualidad mecánica más predominante es la resistencia a la compresión, simbolizada por  $f_c$ .

La característica estructural más importante de cualquier edificio es su fuerza general; esta fuerza debe ser lo suficientemente fuerte para soportar todas las tensiones posibles que se espera que se ejerzan sobre el edificio durante su vida útil. (Basurto & Gonzalez, 2021, pág. 30)

### **2.2.2.3 Resistencia a la tracción.**

Es una de las propiedades en estado sólido. Lo que importa es su dureza al arrastre, que es complicado de dimensionar mediante 28 pruebas directas debido a la dificultad de subir la muestra y las indecisiones sobre las presiones secundarias causadas por los elementos que sostienen la muestra (Sanchez Guzman, 2001).

### **2.2.2.4 Requisitos de resistencia del hormigón.**

Los requisitos de resistencia a la compactación del concreto radicarán en la resistencia minúscula que deberá lograr el hormigón anteriormente a la aplicación de las

cargas, y será identificado por su resistencia, en una resistencia mínima en un lapso de 28 días (Toirac Corral, 2019).

- **La resistencia a la compresión** de hormigón ordinario (210 - 280 Kg/cm<sup>2</sup>) y máxima dureza (350-420 Kg/cm<sup>2</sup>) por correlación agua/argamasa (mínima correlación agua/argamasa aumenta la dureza) y grado de aplastamiento (menor presión mayor dureza), pero la dosis del cemento (a mayor dosis de argamasa, mayor dureza) y la granulometría de los áridos (a mejor granulometría se obtiene mayor dureza) también son elementos primordiales (Toirac Corral, 2019).

#### **2.2.2.5 Módulo de elasticidad**

Lograr la deformación adecuada requiere una gran fuerza hacia adentro; esta es la presión virtual requerida para duplicar la longitud original de una pieza. Aumenta la resistencia a la flexión y mejora el rendimiento bajo presión (Pico, 2019, pág. 31).

El módulo elástico (E) es la tensión virtual necesaria para redoblar el volumen original del pedazo. Ósea, es la diferenciación del valor de deformidad obtenida por carga continua la que mejora y aumenta su dureza al doblamiento. La norma de referencia para la evaluación del módulo de deformidad estática del concreto a compresión es la ASTM-C469 (Pico, 2019, pág. 31).

### **2.3 Plásticos PET (tereftalato de polietileno)**

Los polímeros, o también conocidos como plásticos, son compuestos formados por bases moleculares que se pueden gestionar fácilmente con la ayuda de energía como el calor o la presión, y estas sustancias están compuestas básicamente por carbono (Universidad Rafael Landívar, 2018).

De acuerdo a Jacho & Quisocala (2021) el tereftalato de polietileno (PET), también nombrado como polipropileno, es un componente termoplástico que tiene diferentes usos, como envases de alimentos, ropa, material de construcción, cuerda y constituye una gran parte de los desechos domésticos. En los últimos años se han incorporado fibras sintéticas trituradas como el polietileno.

En los últimos años, el PET reciclado se ha utilizado en una variedad de productos, este material tiene la mejor composición en su estructura molecular, uno de los cuales es la menor

densidad, procesabilidad (fácil manejo) para obtener múltiples productos con gran resistencia y elasticidad Gráficos, con altos valores de resistencia a la intemperie (Lugo Mejía & Torres Pérez, 2019).

### 2.3.1 Características generales

El material PET reciclado tiene excelentes propiedades mecánicas, térmicas y químicas muy relevantes para su uso en el sector de la construcción (Alesmar, Rendón, & Korody, 2018).

### 2.3.2 Propiedades

En la figura 2.6 se presenta las propiedades relevantes que pueden ser consideradas para la industria de la construcción.

<b>Propiedades mecánicas</b>		
Peso específico	134	<i>gr/cm<sup>3</sup></i>
Resistencia a la tracción	825	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>
Resistencia a la flexión	1450	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>
Alargamiento a la rotura	15	%
Módulo de elasticidad (Tracción)	28550	<i>kg/cm<sup>2</sup></i>
Resistencia al desgaste por roce	Muy buena	
Absorción de humedad	0.25	%
<b>Propiedades térmicas</b>		
Temperatura de fusión	255	<i>°C</i>
Conductividad térmica	Baja	
Temperatura de deformabilidad por calor	170	<i>°C</i>
Temperatura de ablandamiento de Vical	175	<i>°C</i>
Coefficiente de dilatación lineal de 23 a 100°C	0.00008	<i>mm por °C</i>
<b>Propiedades químicas</b>		
Resistencia a álcalis débiles a Temperatura Ambiente	Buena	
Resistencia a ácidos débiles a Temperatura Ambiente	Buena	
Comportamiento a la combustión	Arde con mediana dificultad	
Propagación de llama	Mantiene la llama	
Comportamiento al quemado	Gotea	

**Figura 2.6. Datos Técnicos de PET**

Fuente (Jacho & Quisocala, 2021)

### 2.3.3 Aplicaciones de su utilización

Los autores Alesmar, Rendón, & Korody (2018) indican que el PET se utiliza cada vez más en la industria de la construcción por ser un material rico y reciclable con alta resistencia, pureza y dureza en su composición.

Para la reutilización del PET y su uso en diversas actividades como la mejora de modificación del concreto en el sector de la construcción evitando la retracción plástica y así reducir el agrietamiento prematuro de pavimentos y edificios, es necesario seguir el proceso de limpieza, clasificación, fundición y extracción para mayores resultados (Botero, Muñoz, Ossa, & Romo, 2017).

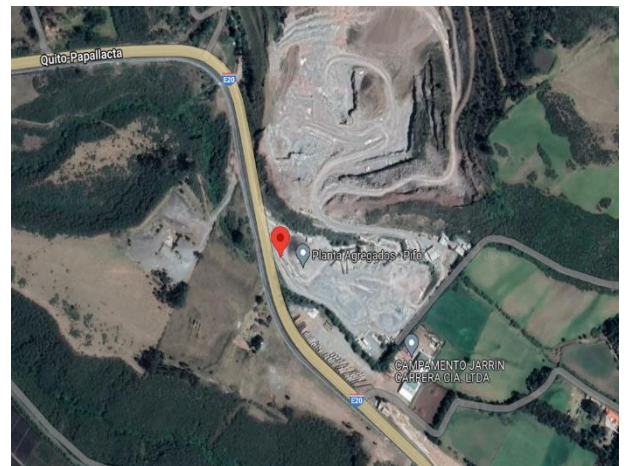
En la actualidad, el uso de PET sobre el concreto promueve un mayor avance en la construcción, debido a que este material es un excelente componente para evitar daños por fisuración, y produce una mejor retracción plástica al curar, lo que a su vez es un excelente material ya que aumenta la durabilidad del concreto (Botero, Muñoz, Ossa, & Romo, 2017).

### 2.3.4 Descripción y origen de los materiales

Los agregados finos y gruesos se obtuvieron de la mina de Holcim la cual está se encuentra ubicada en la planta de agregado en la parroquia de Pifo.



**Ilustración 2.2** Planta de agregados Pifo



**Figura 2.7** Planta de agregados Holcim  
Fuente Google

Para obtener los residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno) se realizó una solicitud a la empresa “Enkador” la cual se encuentra ubicada en el cantón Rumiñahui en la ciudad de Sangolquí. El material no tuvo ningún valor debido a que el uso y aplicación del mismo fueron empleados por motivos académicos.



**Figura 2.8. Empresa “Enkador”**

Fuente (Enkador, 2018)



**Ilustración 2.3** Residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)

Fuente (Enkador, 2018)

### 3 CAPÍTULO III: ENSAYOS DE LABORATORIO DE LOS AGREGADOS

Las propiedades físicas y mecánicas del hormigón dependen en amplia medida de las cualidades de los secos, ya que constituyen aproximado del 75% del valor total. Seguidamente, se analizaron las cualidades físicas, como la magnitud de partícula, la granulometría específica y la absorción, la densidad aparente y la abrasión.

#### 3.1 Granulometría Agregado Grueso

Es el proceso de separación de las partículas que constituyen el agregado según el tamaño, de tal forma que se pueda determinar los porcentajes en peso de cada tamaño que conforma el peso total.

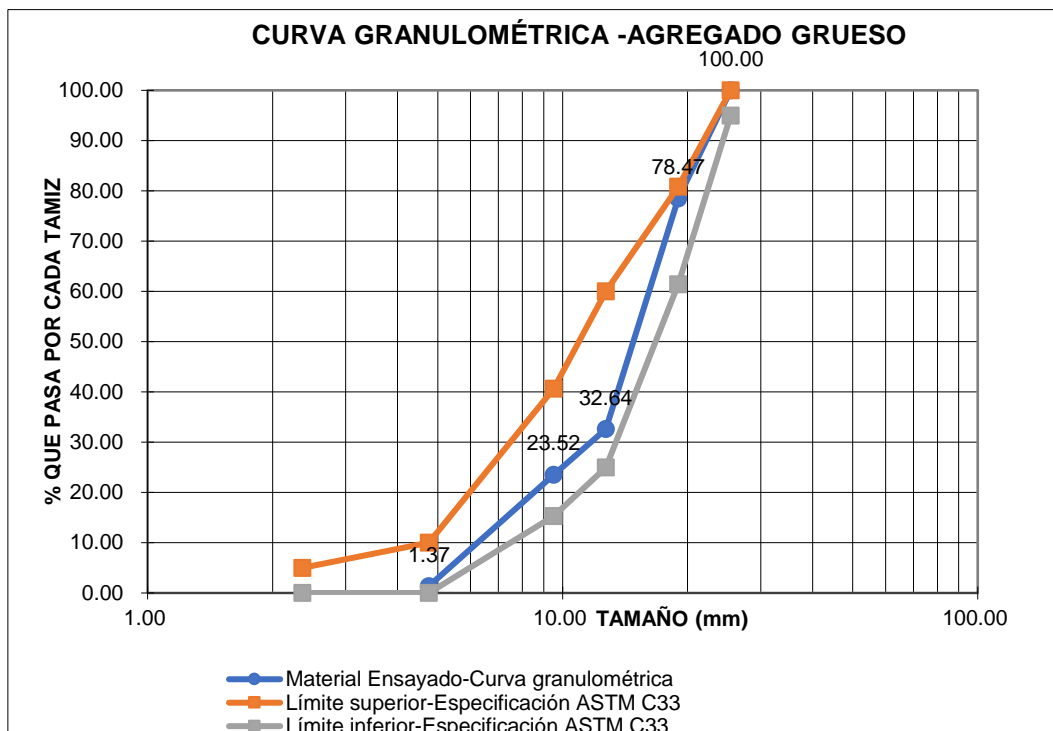
Cuando lo hicieron, en suelos gradados bien, las muestras contenían partículas de varios tamaños y en proporciones iguales. En suelo bien gradado debe cumplir los parámetros especificados en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Parámetros granulométrico Agregado grueso - ASTM C 136**

Malla No.	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial	Masa Retenida Acumulada	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Que pasa (%)
1"	25.40	0	0	0.00	100.00
3/4"	19.00	3990	3990	21.53	78.47
1/2"	12.70	8494	12484	67.36	32.64
3/8"	9.51	1691	14175	76.48	23.52
No.4	4.76	4106	18281	98.63	1.37
Agregado que pasa N° 4		253	253		
Suma		18534	18534		

**Tabla 3.2 Límites de granulometría en base a la normativa ASTM C 136**

Malla #		Especificaciones según el tamaño del agregado		Masa retenida parcial
1 plg	25.40	95.00	100.00	0.00
3/4 plg	19.00	61.40	80.80	3990.00
1/2 plg	12.70	25.00	60.00	8494.00
3/8 plg	9.51	15.32	40.65	1691.00
No.4	4.76	0.00	10.00	4106.00
No.8	2.36	0.00	5.00	0.00
				18281.00
				18534.00



**Gráfico 3.1 Curva granulométrica -agregado grueso**

### Interpretación de los Resultados

Para el ensayo de granulometría de áridos gruesos se seleccionó un material de la mina de Holcim en Pifo. En base a la gráfica se puede determinar que el material ensayado tanto en su valor máximo y mínimo cumple con la normativa ASTM C33.

### 3.2 Granulometría Agregado Fino

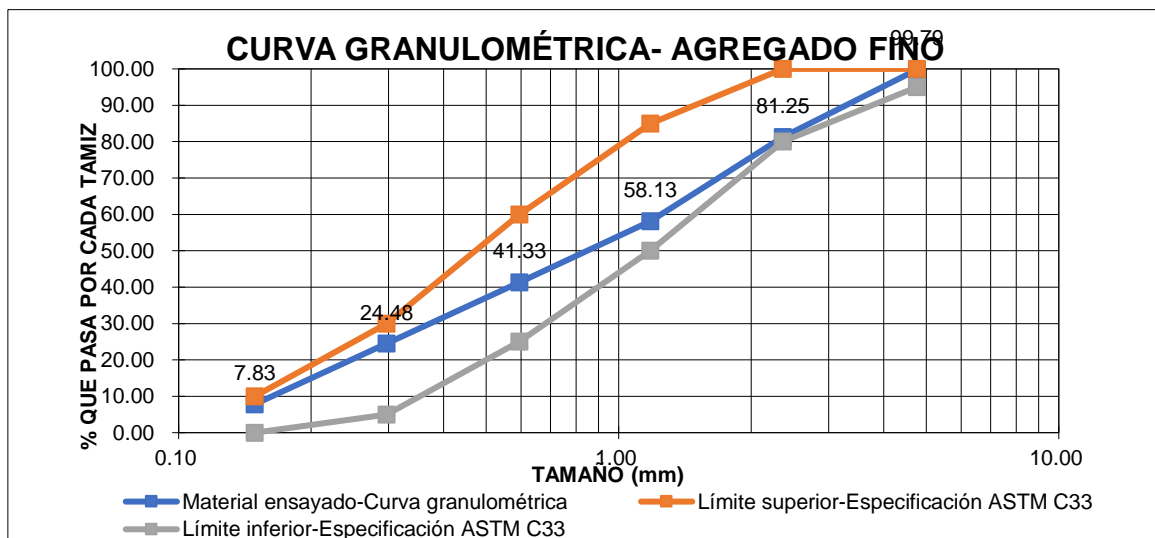
Es la distribución granulométrica de los áridos, que se determina a través del tamiz No.4 hasta el tamiz No.200, lo cual está establecido por la normativa ASTM C 136 (ver tabla 3.3)

**Tabla 3.3. Análisis granulométrico A. FINO - ASTM C 136**

Malla No.	Abertura (mm)	Masa Retenida Parcial	Masa Retenida Acumulada	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Que pasa (%)
No.4	4.76	1.15	1.15	0.21	99.79
No.8	2.36	100.20	101.35	18.75	81.25
No.16	1.18	125.00	226.35	41.87	58.13
No.30	0.60	90.80	317.15	58.67	41.33
No.50	0.30	91.10	408.25	75.52	24.48
No.100	0.15	90.00	498.25	92.17	7.83
Pasa No. 100		42.35	42.35		
SUMA		540.60	540.60		

**Tabla 3.4. Límites granulométrico A. FINO - ASTM C 136**

Malla #	Abertura (mm)	Especificaciones según el agregado		Masa retenida
No.4	4.76	95.00	100.00	1.15
No.8	2.36	80.00	100.00	100.20
No.16	1.18	50.00	85.00	125.00
No.30	0.60	25.00	60.00	90.80
No.50	0.30	5.00	30.00	91.10
No.100	0.15	0.00	10.00	90.00
No.200	0.07	0.00	5.00	0.00



**Gráfico 3.2. Curva granulométrica- agregado fino**

## Interpretación de los Resultados

El material ensayado se encuentra dentro de los límites inferior y superior, por lo cual el material cumple con lo establecido en la norma ASTM C33

### 3.3 Ensayos de peso unitario

- **Agregado grueso -ASTM C29**

```
P=8539.0; %,masa del molde (gr)
V=9950.0; %Volumen del molde (cm^3)
A=22660.0; %Masa del molde +material suelto (gr)
B=23963.0; %Masa molde + material compacto (gr)
Ms=A-P;%Masa del material suelto(gr)
Mc=B-P;%Masa del material compacto gr)
Pus=(Ms/V)*(1000); %Peso unitario suelto kg / m3
Puc=(Mc/V)*(1000);%Peso unitario compacto kg / m3
format short g
varNames={'Ms_gr', 'Mc_gr', 'Pus_kg_m3', 'Puc_kg_m3'};
T=table(Ms,Mc,Pus,Puc, 'VariableNames',varNames)
```

**Tabla 3.5. Peso unitario del agregado grueso**

	Ms_gr	Mc_gr	Pus_kg_m3	Puc_kg_m3
1	14121	15424	1419.2	1550.2

- **Agregado fino- ASTM C 29**

```
P2=5050.0; %,masa del molde (gr)
V2=2980.0; %Volumen del molde (cm^3)
A2=9000.0; %Masa del molde +material suelto (gr)
B2=9642.0; %Masa molde + material compacto (gr)
Ms2=A2-P2;%Masa del material suelto(gr)
Mc2=B2-P2;%Masa del material compacto gr)
Pus2=(Ms2/V2)*(1000); %Peso unitario suelto kg / m3
Puc2=(Mc2/V2)*(1000);%Peso unitario compacto kg / m3
format short g
varNames={'Ms2_gr', 'Mc2_gr', 'Pus2_kg_m3', 'Puc2_kg_m3'};
T=table(Ms2,Mc2,Pus2,Puc2, 'VariableNames',varNames)
```

**Tabla 3.6. Peso unitario del agregado fino**

	Ms2_gr	Mc2_gr	Pus2_kg_m3	Puc2_kg_m3
1	3950	4592	1325.5	1540.9

### 3.4 Ensayos de gravedad específica

- **Agregado grueso - ASTM C 29**

```
Ms3=5356.00; %Masa de la muestra seca (gr)
Mss3=5467.00; %Masa de la muestra saturada con superficie seca (gr)
Mms3=3224.00; %Masa aparente de la muestra saturada con superficie seca (gr)
Ge=(Ms3)/(Mss3-Mms3); %Gravedad especifica seca (gr)
Ges=(Mss3)/(Mss3-Mms3);%Gravedad especifica saturada con superficie seca (gr)
Gea=(Ms3)/(Ms3-Mms3);%Gravedad especifica aparente (gr)
Pa=((Mss3-Ms3)/(Ms3))*100;%Porcentaje de absorción
varNames={'Ge_gr', 'Ges_gr', 'Gea_gr', 'Pa_Porcentaje'};
T=table(Ge,Ges,Gea,Pa, 'VariableNames', varNames)
```

**Tabla 3.7 Gravedad específica agregado grueso**

	Ge_gr	Ges_gr	Gea_gr	Pa_Porcentaje
1	2.3879	2.4374	2.5122	2.0724

- **Agregado Fino- ASTM C 128**

```
Mm=151.20;%Masa del matraz gr
Mma=690.70;%Masa del matraz + agua B (gr)
Mcma=993.40;%Masa conjunto matraz, agua y muestra C (gr)
Mms4=500.70;%Masa de muestra saturada con superficie seca S (gr)
Ma4=485.80;%Masa de la muestra seca A (gr)
Ge2=(Ma4)/(Mma+Mms4-Mcma);%Gravedad especifica seca (gr)
Ges2=(Mms4)/(Mma+Mms4-Mcma);%Gravedad especifica saturada con superficie seca (gr)
Gea2=(Ma4)/(Mma+Ma4-Mcma);%Gravedad especifica aparente (gr)
Pa2=((Mms4-Ma4)/(Ma4))*100;%Porcentaje de absorción (%)
varNames={'Ge2_gr', 'Ges2_gr', 'Gea2_gr', 'Pa2_Porcentaje'};
```

T=table(Ge2,Ges2,Gea2,Pa2, 'VariableNames', varNames)

**Tabla 3.8 Gravedad específica agregado Fino**

	Ge2_gr	Ges2_gr	Gea2_gr	Pa2_Porcentaje
1	2.4535	2.5288	2.6532	3.0671

### 3.5 Ensayo de Tamiz #200.

Para el cálculo del porcentaje pasante por el tamiz 200 se empleó la siguiente fórmula

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

**Fórmula 3.1 Promedio pasante del tamiz #200**

Donde:

- A=Porcentaje del material que pasa por el tamiz 200 (75µm) por lavado, con presión de 0.1%.
- B=Peso original de la muestra seca (gr)
- C= peso de la muestra seca después de lavar en gramos (gr)

**Tabla 3.9. Mina de Holcim (localización “Pifo”)**

Muestra	Tamiz		Peso Seco Original gr (B)	Peso Seco Después del Lavado gr (C)	% Que Pasa N° 200
	Pulg	µm			
Agregado fino	# 200	75,00	307,10	279,60	8,95
Agregado grueso	# 200	75,00	3000,00	2972,00	0,93
% Pasante la malla # 200 promedio =			<b>4.94</b>		

El porcentaje del agregado fino del tamiz #200 es 8.95% la norma recomienda que sea menor a 7% por lo cual no cumple, pero no es un factor que afecte tanto al diseño de los cilindros y vigas de hormigón.

### 3.6 Ensayo de Contenido Orgánico

El compuesto orgánico existente en el árido fino está compuesta primordialmente por tejido animal y orgánico. Contiene carbono, nitrógeno y agua, en forma de humus.

Para establecer este elemento orgánico se usó hidróxido de sodio, que responde con la presencia de los compuestos orgánicos y se manifiesta con el cambio de coloración de la solución, que se coteja con el cambio de color estipulado en la escala de Gardner.

Esta escala se fracciona en 5 colores, si es por encima de 3 el material es efectivo, y si es por debajo de 3 no es bueno por su elevado volumen de materia orgánica (figura 3.1).

FIGURA	COLOR	CARACTERÍSTICAS
1	Blanco claro a transparente	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limo o arcillas.
2	Amarillo pálido	Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad.
3	Amarillo encendido	Contiene materia orgánica en altas cantidades. Puede usarse en hormigones de baja resistencia.
4	Café	Contiene materia orgánica en concentraciones muy elevadas. Se considera de mala calidad.
5	Café chocolate	Arena de muy mala calidad. Existe demasiada materia orgánica, limos o arcilla. No se usa.

Figura 3.1. Escala de colores de contenido orgánico

Fuente (Hurtado, 2014)

Para la realización del ensayo se empleó las siguientes normativa ASTM C-40-13.

Tabla 3.10 Contenido Orgánico

Muestra N. <sup>a</sup>	1
Valor en la escala	1,00

El valor del contenido es menor de 3, por lo que resultó apto para realizar los cilindros y las vigas de hormigón.

### 3.7 Abrasión ASTM C131

```
Maim=5002.00;%Masa inicial de la muestra (gr)
Mrt500r=3565.00;%Masa retenida en el tamiz N.º 12 después de 500
revoluciones (gr)
Mp200=(Maim-Mrt500r);%Masa que pasa el tamiz N.º 12
Pd=(Mp200/Maim)*100;%Porcentaje de desgaste (%)
varNames={'Maim_gr', 'Mrt500r_gr', 'Mp200_gr', 'Pd_Porcentaje'};
T=table(Maim,Mrt500r,Mp200,Pd, 'VariableNames', varNames)
```

**Tabla 3.11 Parámetros Abrasión ASTM C131**

	Maim_gr	Mrt500r_gr	Mp200_gr	Pd_Porcentaje
1	5002	3565	1437	28.729

El porcentaje de abrasión es de 28% lo cual es adecuado debido a que el valor se debe encontrar por debajo del 40 % que es recomendable.

#### **4 CAPÍTULO IV: DISEÑO Y ENSAYOS DE LABORATORIO DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN**

##### **4.1 Cálculo de la dosificación de los cilindros y vigas con los diferentes porcentajes de botella triturada en la mezcla**

Para realizar la dosificación teórica se consideró los valores obtenidos en las características de los materiales, los cuales no presentaron ninguna novedad, pues están dentro del rango establecido por las normativas, tales como: NTE y la ASTM.

Los residuos de envases de botellas trituradas PET se obtuvieron de la empresa “Enkador,” ubicada en la parroquia de Sangolquí perteneciente al cantón de Rumiñahui, y se utilizó en diferentes porcentajes, a continuación, el detalle:

- Muestra inicial 0.00% de residuos de botellas PET
- 0.5% residuos de botellas PET
- 1.0% residuos de botellas PET
- 1.5 % residuos de botellas PET

La dosificación teórica se realizó en base a la norma (ACI 316 : 1974, 2013)

##### **4.1.1 Muestra inicial 0.00% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)**

**Tabla 4.1 Primera dosificación-Muestra inicial**

cemento	37.50	kg
Agua	21.08	Lt
agregado fino	78.53	kg
agregado grueso	76.95	kg

#### 4.1.2 0.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)

**Tabla 4.2. Segunda dosificación 0.5%**

Cemento	37.50	Kg			
Agua	21.08	Lt			
Agregado fino	78.14	kg	%plástico	0.39	kg
Agregado grueso	76.56	kg	%plástico	0.38	kg

#### 4.1.3 1.0% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)

**Tabla 4.3. Tercera dosificación 1.0%**

Cemento	37.50	Kg			
Agua	21.08	L			
Agregado fino	77.75	kg	%plástico	0.78	kg
Agregado grueso	76.17	kg	%plástico	0.76	kg

#### 4.1.4 1.5 % de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)

**Tabla 4.4. Cuarta dosificación 1.0%**

Cemento	37.50	Kg			
Agua	21.08	L			
Agregado fino	77.34	kg	%plástico	1.16	kg
Agregado grueso	75.80	kg	%plástico	1.14	kg

De cada dosificación se logró obtener 6 cilindros y 5 vigas, en la tabla 4.5 se muestra el total de vigas y cilindros de las cuatro dosificaciones con los diferentes porcentajes.

**Tabla 4.5. Total, de vigas y cilindros de las cuatro dosificaciones con los diferentes porcentajes**

24.00	Cilindros
20.00	Vigas

Se calculó el número de sacos empleados en la realización de los cilindros y vigas (ver tabla 4.6), cabe mencionar que de cada saco de cemento contiene 50 kg mientras que cada saco de agregado fino y agregado grueso contiene 40kg. El consumo de agua fue de 84.30 litros.



**Ilustración 4.1** Material empleado en la realización de cilindros y vigas de hormigón

**Tabla 4.6** Número de sacos empleados

Cementos	3.00	3.00
Agregado fino	7.79	8.00
Agregado grueso	7.64	8.00

#### **4.2 Diseño de los cilindros y vigas con los diferentes porcentajes de botella triturada en la mezcla**

Una vez elaborada la dosificación teórica se procedió a la fabricación de las vigas y los cilindros, para lo cual se empleó los siguientes materiales y equipos:

- Balanza
- Recipiente cilíndrico
- Recipiente para las vigas
- Barra compactada (varilla de 1,6 cm. de diámetro de diámetro y 60 cm. de longitud)
- Concretera
- Mazo de caucho
- Pequeñas herramientas (palas, baldes y cuchara de albañil)
- Molde tronco – cónico
- Flexómetro
- Cemento
- Agregados

Los materiales (cemento y agregados) deben estar ubicados en un lugar adecuado, evitando el exceso de calor y humedad, ya que puede afectar al momento de realizar la mezcla, se recomienda que la temperatura debe estar entre los 20 a 25 °C.

#### 4.2.1 Procedimiento de obtención de vigas y los cilindros

Para elaborar las vigas y los cilindros se utilizó la dosificación al peso y al volumen, como primer paso se pesó la cantidad de cemento y agregado necesario. Cabe destacar que se verificó que la balanza estuviese enserada, ya que de esta manera evitamos presentar errores en el peso, posteriormente, se procedió a realizar la mezcla con y sin residuos de envases de botella.

En cuanto a la mezcla patrón (sin residuos de envases de botella PET), se añadió en la concretera agua (80%), posteriormente, se adicionó el agregado grueso y fino (100%) y el cemento (100%), finalmente se agregó el resto de agua (20%).

En el caso de las mezclas con residuos de envases de botella PET, se realizó la mezcla de la siguiente forma: primero se agregó el agua (60%) a la concretera, luego se colocó la mitad del agregado fino y grueso, de la misma manera el cemento. Dejamos reposar y se agregó los diferentes porcentajes de envases de botellas PET. Una vez realizado este procedimiento se completó los porcentajes de agua, agregados y cemento. Se realizó de esta forma con el propósito de que los residuos de plásticos se logren mezclar de manera homogénea y evitar que los residuos se concentren en un solo lugar.



**Ilustración 4.2** Desarrollo de los cilindros y vigas con los diferentes porcentajes de botella triturada en la mezcla

### 4.3 Asentamiento

El ensayo de asentamiento nos permite conocer la consistencia del hormigón.

#### 4.3.1 Procedimiento

Una vez finalizada la mezcla se procedió a verificar el asentamiento del hormigón, para lo cual se usó un molde cónico, el mismo que se colocó en una superficie plana y se apoyó con los pies, se vertió el hormigón hasta que ocupe un tercio del volumen, se compactó usando la varilla. Se realizó 25 golpes para que se distribuya uniformemente, este proceso se repitió hasta llenar el molde.

Al finalizar se retiró el exceso con la varilla y se procedió a medir con el flexómetro, en la mezcla patrón se obtuvo una medida de 10 cm y se determinó una temperatura de 25.3 °C.



**Ilustración 4.4**  
Asentamiento de la  
mezcla sin residuos  
de envase de botella



**Ilustración 4.3**  
Temperatura de la  
mezcla sin residuos de  
envase de botella

El asentamiento recomendado es  $10\text{ cm} \pm 1$ , por lo tanto, el asentamiento de la mezcla patrón ( $10\text{ cm}$ ) se encuentra en el rango establecido.

En el caso de las mezclas en las que se introdujeron los residuos de envases de botella PET (diferentes porcentajes) se puede verificar que no cumplen con el asentamiento recomendado, ya que las mismas son mayores a  $10\text{ cm} \pm 1$ .

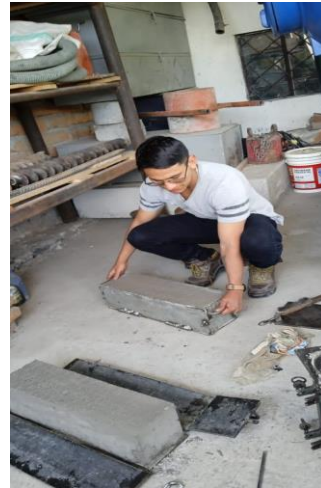
Con respecto al tiempo de duración del ensayo, desde el momento que se realiza el llenado del molde hasta que se retira, no debe superar el tiempo máximo de dos minutos y medio, si el hormigón se desmorona o se desprende hacia algún lado se debe repetir el ensayo

#### **4.4 Desencofrado de las muestras**

El desencofrado consiste en desmoldar las muestras de los moldes empleados, los cuales se deben retirar con cuidado sin aplicar mucha fuerza, golpear o sacudir para evitar deformaciones o fisuras. Las muestras se desencofraron al día siguiente de haber finalizado la elaboración de las vigas y los cilindros. Los moldes utilizados se dejaron limpios y engrasados para su posterior utilización.



**Ilustración 4.5** Proceso de desencofrado de las muestras (cilindros)



**Ilustración 4.6** Proceso de desencofrado de las muestras (vigas)

#### 4.5 Curado de las muestras



El curado del hormigón es un proceso que trata de mantener a las muestras (cilindros y vigas) en un ambiente húmedo con el propósito que adquiera la totalidad de la resistencia en el tiempo establecido. Una vez desencofrado las muestras se procede a colocarlas en baldes de agua durante 7 y 28 días

**Ilustración 4.7** Curado de las muestras (cilindros y vigas) con y sin residuos de botellas PET

## 5 CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Resistencia a la compresión

#### 5.1.1 Ensayo de compresión a los 7 días en los cilindros

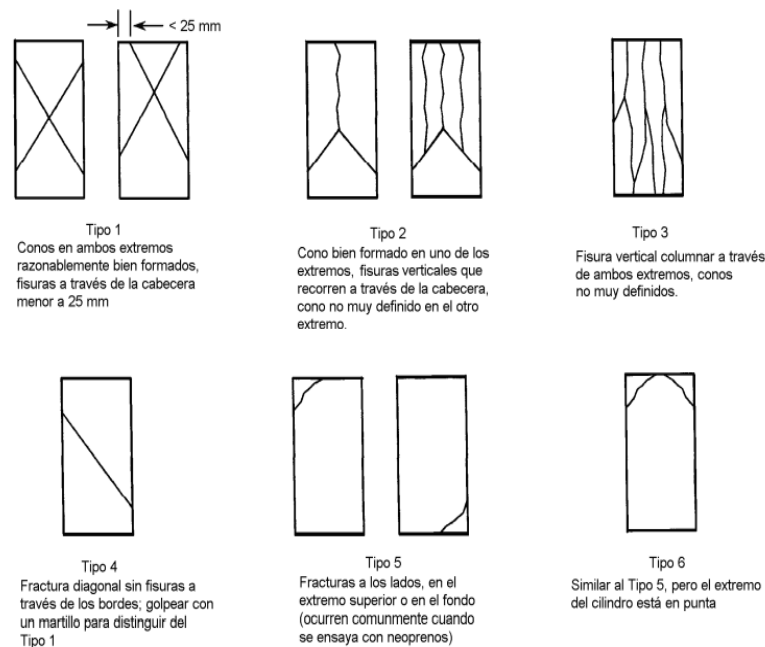
El ensayo se realizó en base a la normativa ASTM C – 39, en el cual se aplicó una carga axial de compresión exponencial sobre la muestra extraída de la mezcla obtenida, hasta que ocurra la falla. El propósito de este ensayo de compresión es verificar el comportamiento o respuesta de un material cuando es sometido a una carga de compresión midiendo variables fundamentales como deformación y tensión. La resistencia se obtuvo aplicando la fórmula de esfuerzo.

$$\text{Resistencia del hormigón } f'_c = 280 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Resistencia del hormigón a los 7 días} = 280 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 0.7 = 196 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

#### 5.1.2 Esquema de los modelos típicos de fractura

Una vez finalizado el ensayo se procedió a realizar una revisión manual y visual para identificar el tipo de falla que se produjo en los cilindros ensayados.



**Figura 5.1 Modelos típicos de fractura**

Fuente (INEN 1 573, 2010)

**Tabla 5.1 Ensayo de compresión (cilindros)-a los 7 días**

Fecha de elaboración: 27/09/2022									
Fecha de ensayo: 4/10/2022									
Edad de los cilindros: 7 días									
	Diámetro Promedio (d)	Área $\left(A = \pi * \frac{d^2}{4}\right)$	Carga Aplicada (P)	Resistencia a los 7 días $\left(\frac{P}{A} * 10.2\right)$	Altura Promedio (h)	Peso (w)	Volumen (v=A*h)	Peso Unitario $\left(\frac{w}{v} 1000\right)$	Tipo de Falla
	Mm	mm <sup>2</sup>	N	$\frac{kg}{cm^2}$	Mm	Gr	mm <sup>3</sup>	$\frac{gr}{mm^3}$	
Cilindros con 0.00% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	150.50	17789.46	345960.00	<b>198.36</b>	300.33	12317.00	5342769.25	2.31	5
2	151.50	18026.65	346950.00	<b>196.31</b>	300.50	12287.00	5417009.83	2.27	4
Cilindros con 0.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	151.53	18034.59	303250.00	<b>171.51</b>	300.33	11970.00	5416388.05	2.21	5
2	152.00	18145.84	303560.00	<b>170.63</b>	302.67	11980.00	5492140.65	2.18	5
Cilindros con 1.0% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	152.43	18249.45	320040.00	<b>178.88</b>	302.67	12050.00	5523500.13	2.18	5
2	151.80	18098.12	320010.00	<b>180.36</b>	299.67	12080.00	5423402.81	2.23	4
Cilindros con 1.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	151.87	18114.02	312050.00	<b>175.72</b>	300.33	12040.00	5440243.50	2.21	5
2	151.80	18098.12	312110.00	<b>175.90</b>	299.67	12010.00	5423402.81	2.21	4

### Calculos manuales con la muestra patrón

$$\text{Resistencia promedio} = \frac{198.36 + 196.31}{2} = 197.34 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Desviación estándar} = \sqrt{\frac{(197.34 - 198.36)^2 + (197.34 - 196.31)^2}{1}} = 1.45 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Resistencia característica} = 197.34 - (1.34 * 1.45) = 195.39 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

<b>Cilindros con 0.00% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)</b>		
Resistencia promedio	197.34	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
Desviación estándar	1.45	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
Resistencia característica	195.39	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
<b>Cilindros con 0.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)</b>		
Resistencia promedio	171.07	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
Desviación estándar	0.62	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
Resistencia característica	170.24	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
<b>Cilindros con 1.0% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)</b>		
Resistencia promedio	179.62	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
Desviación estándar	1.05	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
Resistencia característica	178.22	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
<b>Cilindros con 1.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)</b>		
Resistencia promedio	175.81	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
Desviación estándar	0.13	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
Resistencia característica	175.64	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

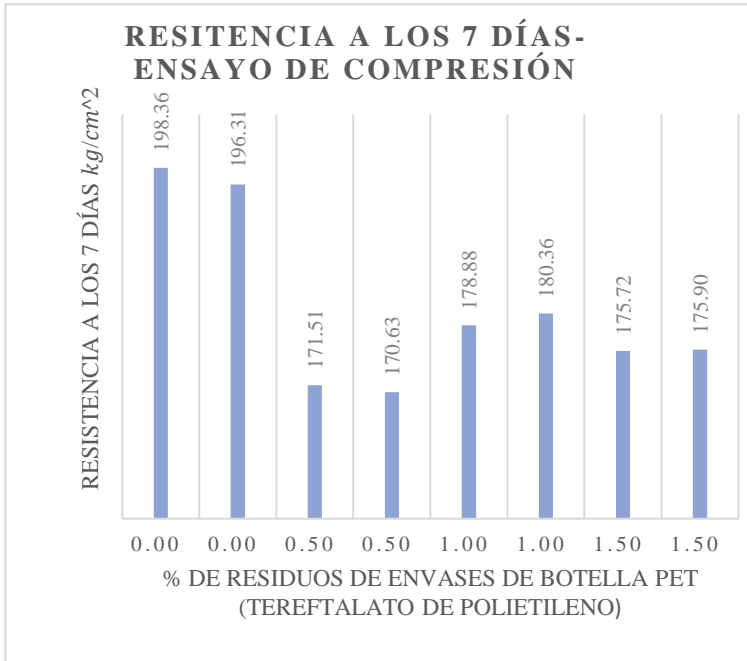
### 5.1.3 Ensayo de compresión a los 28 días en los cilindros

Resistencia del hormigón a los 28 días =  $280 \frac{kg}{cm^2}$

**Tabla 5.2 Ensayo de compresión (cilindros)- a los 28 días**

Fecha de elaboración:27/09/2022		Fecha de ensayo:25/10/2022				Edad de los cilindros: 28 días			
	Diámetro Promedio (d)	Área $(A = \pi * \frac{d^2}{4})$	Carga Aplicada (P)	Resistencia a los 7 días $(\frac{P}{A} * 10.2)$	Altura Promedio (h)	Peso (w)	Volumen (v=A*h)	Peso Unitario $(\frac{w}{v} * 1000)$	Tipo de Falla
	mm	mm <sup>2</sup>	N	$\frac{kg}{cm^2}$	Mm	Gr	mm <sup>3</sup>	$\frac{gr}{mm^3}$	
Cilindros con 0.00% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	152.50	18265.42	516140.00	288.23	304.33	12280.00	5558774.95	2.21	4
2	151.00	17907.86	516020.00	293.92	300.83	12287.00	5387282.28	2.28	4
Cilindros con 0.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	152.77	18329.35	468990.00	260.99	305.33	12290.00	5596561.82	2.20	4
2	151.67	18066.34	463360.00	261.61	301.83	12270.00	5453023.45	2.25	4
Cilindros con 1.0% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	152.20	18193.62	466290.00	268.55	304.67	12250.00	5395875.29	2.27	4
2	150.50	17789.46	465290.00	266.78	300.00	12200.00	5336839.43	2.29	4
Cilindros con 1.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	151.70	18074.28	465080.00	262.46	301.00	12180.00	5440358.74	2.24	4
2	151.80	18098.12	465210.00	262.19	300.33	12170.00	5435468.22	2.24	4

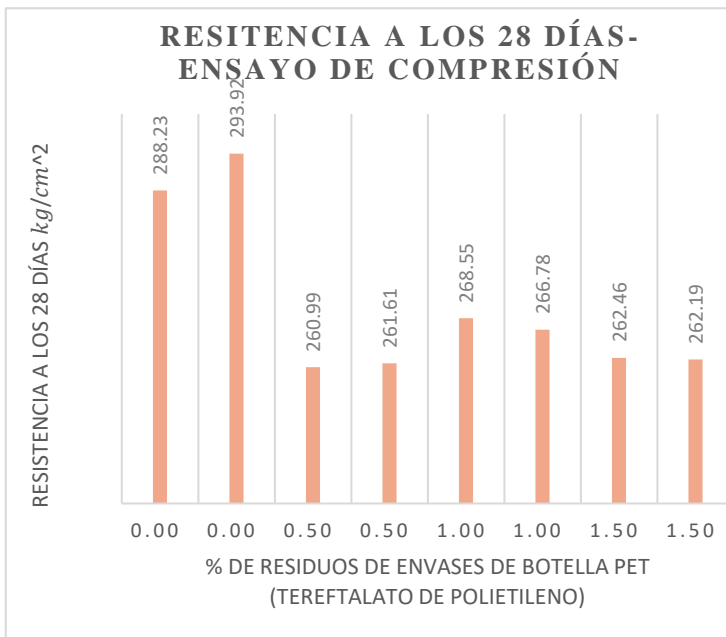
<b>Cilindros con 0.00% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)</b>		
Resistencia promedio	291.08	$\frac{kg}{cm^2}$
Desviación estándar	4.02	$\frac{kg}{cm^2}$
Resistencia característica	285.68	$\frac{kg}{cm^2}$
<b>Cilindros con 0.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)</b>		
Resistencia promedio	261.30	$\frac{kg}{cm^2}$
Desviación estándar	0.44	$\frac{kg}{cm^2}$
Resistencia característica	260.71	$\frac{kg}{cm^2}$
<b>Cilindros con 1.0% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)</b>		
Resistencia promedio	267.67	$\frac{kg}{cm^2}$
Desviación estándar	1.25	$\frac{kg}{cm^2}$
Resistencia característica	265.99	$\frac{kg}{cm^2}$
<b>Cilindros con 1.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)</b>		
Resistencia promedio	262.33	$\frac{kg}{cm^2}$
Desviación estándar	0.19	$\frac{kg}{cm^2}$
Resistencia característica	262.07	$\frac{kg}{cm^2}$



**Gráfico 5.1 Resistencia de compresión a los 7 días**



**Ilustración 5.2** Ensayo de compresión



**Gráfico 5.2 Resistencia de compresión a los 28 días**



**Ilustración 5.3** Maquina de ensayo (mecánica)

## 5.2 Resistencia a la flexión

### 5.2.1 Ensayo de flexión a los 7 días en vigas



**Ilustración 5.4**  
**Ensayo de flexión**

Una vez finalizado el proceso de curado en las vigas a los 7 días se procedió a realizar el ensayo de flexión, el cual tiene como objetivo conocer la resistencia a la tracción del hormigón, mediante la aplicación de una fuerza, del mismo modo que en el caso de los cilindros. Para realizar los cálculos y el procedimiento a seguir se empleó la norma ASTM C78, mediante el método en los puntos tercios (ver figura 5.4).

Si la fractura se encuentra dentro del tercio medio de la longitud entre apoyos se calcula el módulo de rotura de la siguiente forma:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

#### **Fórmula 5.1 Módulo de rotura dentro del tercio medio**

Donde:

- R = Módulo de rotura (Psi o MPa)
- P = Carga máxima Aplicada (lbf o N)
- L = Longitud (pulg o mm)
- b = Ancho promedio (pulg o mm)
- d = Altura promedio (pulg o mm)

Al calcular el módulo de ruptura del material, se usó la fórmula 2, si ocurre una fractura en la superficie de tensión fuera del tercio medio de la longitud entre apoyos. No puede faltar más del 5% de la longitud entre apoyos.

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

#### **Fórmula 5.2 Módulo de rotura fuera del tercio medio**

Fuente: ASTM C78

Donde:

- a = Distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano en la superficie de tensión (pulg o mm)

**Tabla 5.3.** Ensayo de flexión (vigas)- a los 7 días

Fecha de elaboración: 27/09/2022			Fecha de ensayo: 4/10/2022			Edad de las vigas: 7 días			
	Longitud total	Carga Aplicada	Longitud Promedio (l)	Ancho Promedio (a)	Altura Promedio (h)	Peso (w)	Módulo de rotura (R)	Volumen (v=a*l*h)	Peso Unitario ( $\frac{w}{v} 1000$ )
	Mm	(N)	(mm)	(mm)	(mm)	gr	MPa / $\frac{kg}{cm^2}$	mm <sup>3</sup>	$\frac{gr}{mm^3}$
Vigas con 0.00% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	546.00	29860.00	450.00	151.04	150.75	27842.00	3.91 39.93	10246176.00	2.72
2	546.00	30020.00	450.00	151.20	150.88	27720.00	3.92 40.03	10265535.00	2.70
Vigas con 0.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	546.00	22280.00	450.00	151.05	150.75	27160.00	2.92 29.79	10246854.38	2.65
2	546.00	22270.00	450.00	151.04	151.25	27140.00	2.90 29.58	10280160.00	2.64
Vigas con 1.0% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	546.00	24780.00	450.00	151.05	150.75	27520.00	3.25 33.13	10246854.38	2.69
2	546.00	24760.00	450.00	151.06	151.35	27480.00	3.22 32.84	10288318.95	2.67
Vigas con 1.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	546.00	22420.00	450.00	151.09	150.77	27320.00	2.94 29.97	10250248.51	2.67
2	546.00	22430.00	450.00	151.07	150.75	27290.00	2.94 29.99	10247871.94	2.66

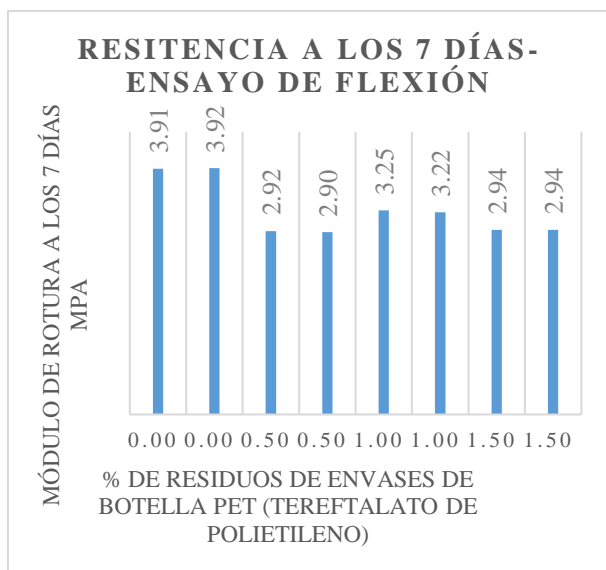
Resistencia promedio	<b>39.98</b>	$\frac{kg}{cm^2}$
Desviación estándar	<b>0.07</b>	$\frac{kg}{cm^2}$
Resistencia característica	<b>39.89</b>	$\frac{kg}{cm^2}$
<b>Vigas con 0.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)</b>		
Resistencia promedio	<b>29.69</b>	$\frac{kg}{cm^2}$
Desviación estándar	<b>0.15</b>	$\frac{kg}{cm^2}$
Resistencia característica	<b>29.49</b>	$\frac{kg}{cm^2}$
<b>Vigas con 1.0% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)</b>		
Resistencia promedio	<b>32.99</b>	$\frac{kg}{cm^2}$
Desviación estándar	<b>0.21</b>	$\frac{kg}{cm^2}$
Resistencia característica	<b>32.71</b>	$\frac{kg}{cm^2}$
<b>Vigas con 1.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)</b>		
Resistencia promedio	<b>29.98</b>	$\frac{kg}{cm^2}$
Desviación estándar	<b>0.01</b>	$\frac{kg}{cm^2}$
Resistencia característica	<b>29.96</b>	$\frac{kg}{cm^2}$

### 5.2.2 Ensayo de flexión a los 28 días en vigas

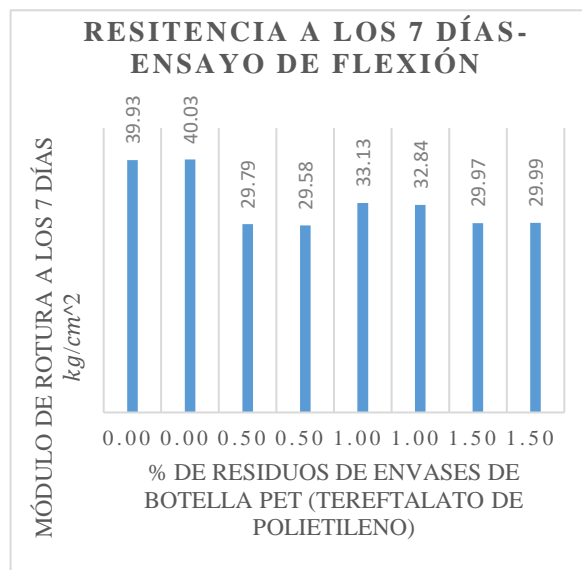
**Tabla 5.4 Ensayo de flexión (vigas con residuos de envases de botella PET)-28 días**

Fecha de elaboración: 27/09/2022									
Fecha de ensayo: 25/10/2022									
Edad de las vigas: 28 días									
	Longitud total	Carga Aplicada	Longitud (l)	Ancho (a)	Altura (h)	Peso (w)	Módulo de rotura (R)	Volumen (v=a*l*h)	Peso Unitario ( $\frac{w}{v} 1000$ )
	mm	(N)	(mm)	(mm)	(mm)	gr	MPa / $\frac{kg}{cm^2}$	mm <sup>3</sup>	$\frac{gr}{mm^3}$
Vigas con 0.00% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	546.00	31610.00	450.00	151.07	150.75	27260.00	4.14 42.26	10247871.94	2.66
2	546.00	30520.00	450.00	150.55	151.50	26650.00	3.97 40.54	10263746.25	2.60
3	546.00	30650.00	450.00	151.23	151.25	27150.00	3.99 40.67	10292751.56	2.64
Vigas con 0.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	545.00	28440.00	450.00	151.85	152.25	27150.00	3.64 37.09	10403623.13	2.61
2	546.00	28300.00	450.00	151.11	151.75	27140.00	3.66 37.33	10318924.13	2.63
3	546.00	27950.00	450.00	151.17	150.50	27150.00	3.67 37.47	10237649.63	2.65
Vigas con 1.0% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	544.00	29250.00	450.00	150.75	150.10	27260.00	3.88 39.53	10182408.75	2.68
2	546.00	28860.00	450.00	150.58	151.33	27250.00	3.77 38.42	10253592.84	2.66
3	546.00	28790.00	450.00	151.35	151.40	27230.00	3.73 38.09	10311475.50	2.64
Vigas con 1.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)									
1	543.00	29070.00	450.00	151.15	153.00	27520.00	3.70 37.71	10406677.50	2.64
2	544.00	29050.00	450.00	151.55	152.10	27290.00	3.73 38.03	10372839.75	2.63
3	544.00	29040.00	450.00	152.05	152.08	27270.00	3.72 37.91	10405351.69	2.62

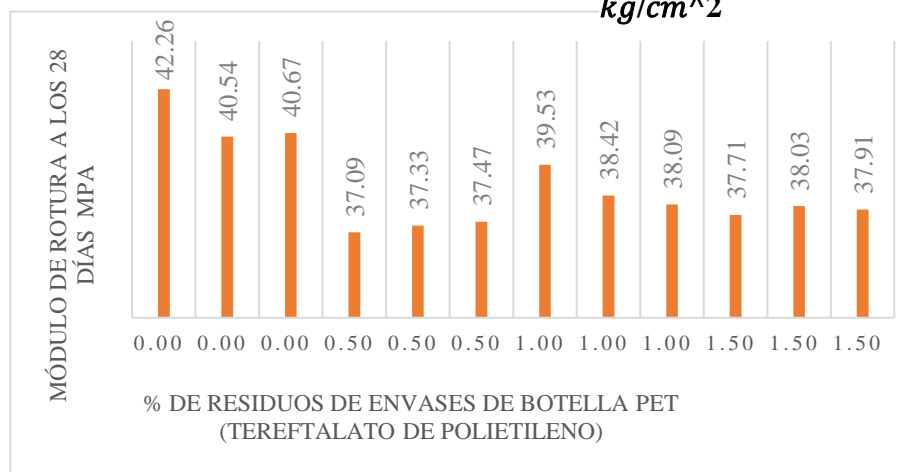
Vigas con 0.00% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)		
Resistencia promedio	41.16	$\frac{kg}{cm^2}$
Desviación estándar	0.96	$\frac{kg}{cm^2}$
Resistencia característica	39.87	$\frac{kg}{cm^2}$
Vigas con 0.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)		
Resistencia promedio	37.30	$\frac{kg}{cm^2}$
Desviación estándar	0.19	$\frac{kg}{cm^2}$
Resistencia característica	37.04	$\frac{kg}{cm^2}$
Vigas con 1.0% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)		
Resistencia promedio	38.68	$\frac{kg}{cm^2}$
Desviación estándar	0.75	$\frac{kg}{cm^2}$
Resistencia característica	37.67	$\frac{kg}{cm^2}$
Vigas con 1.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)		
Resistencia promedio	37.88	$\frac{kg}{cm^2}$
Desviación estándar	0.16	$\frac{kg}{cm^2}$
Resistencia característica	37.67	$\frac{kg}{cm^2}$



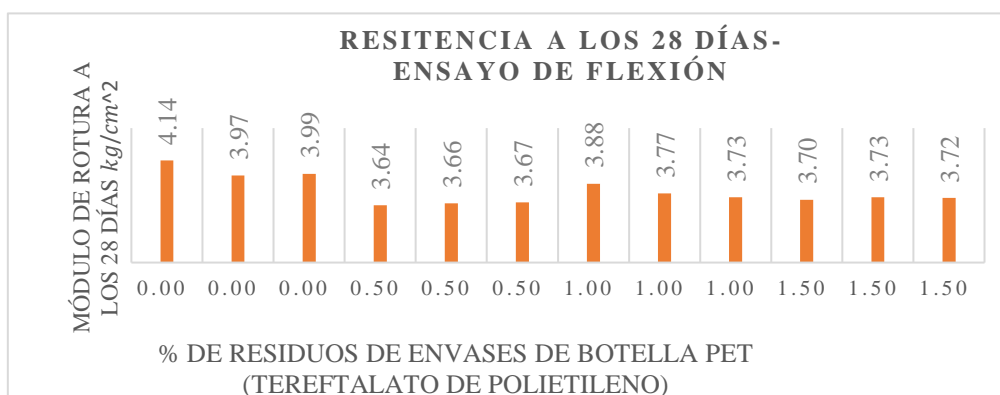
**Gráfico 5.4. Módulo de rotura a los 7 días MPA**



**Gráfico 5.3. Módulo de rotura a los 7 días kg/cm²**



**Gráfico 5.5 Módulo de rotura a los 28 días MPA**



**Gráfico 5.6 Módulo de rotura a los 28 días g/cm²**

### 5.3 Módulo de elasticidad del hormigón



**Ilustración 5.5** Ensayo para determinar el módulo de elasticidad del hormigón

El presente ensayo se realizó a los 28 días, en base a la normativa ASTM C469, para realizar las lecturas de la deformación se utilizó un deformímetro, en el cual se lee el incremento lineal cada 25 KN. El módulo de elasticidad del hormigón es una propiedad mecánica que nos permite conocer el comportamiento elástico del hormigón, para obtener el módulo de elasticidad se aplicó la fórmula 5.3:

#### Fórmula 5.3. Módulo de elasticidad

$$E = \frac{0,4 T_{m\acute{a}x} - T_{0,00005}}{\epsilon_{0,4 T_{m\acute{a}x}} - 0,00005}$$

Donde:

$T_{m\acute{a}x}$  : Esfuerzo de compresión máximo.

$T_{0,00005}$  : Esfuerzo de compresión correspondiente a 0,00005 mm/mm (deformación unitaria).

$\epsilon_{0,4 T_{m\acute{a}x}}$  : Deformación unitaria correspondiente al 40% del esfuerzo máximo.

Es el factor por el cual habría que multiplicar a la raíz de la resistencia característica de cada cilindro y la ACI nos plantea la siguiente ecuación:

$$E = factor * \sqrt{f'c}$$

$$factor = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$



**Ilustración 5.6** Compresómetro para hormigón

Primero se mide la longitud en el “compresómetro para hormigón” (ilustración 5.6), en este caso la longitud en el compresómetro fue de = 167 mm

**Tabla 5.5.** Datos empleados en el módulo de elasticidad con cilindros de hormigón

Muestra N°	Descripción	Altura	Diámetro	Altura en el compresómetro	Diámetro en el compresómetro	Er	Eg	Peso
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	
1	0.00% de residuos de envases de botella PET.	304.35	151.63	68.68	75.82	121.40	118.9	12.26
2	0.5 % de residuos de envases de botella PET.	303.67	152.00	68.34	76.00	121.0	121.8	12.08
3	1.0 % de residuos de envases de botella PET.	301.17	151.17	68.09	75.59	121.10	119.3	12.11
4	1.5 % de residuos de envases de botella PET.	300.83	150.83	66.92	75.42	121.9	118.9	12.06

- **Cálculos manuales en la muestra patrón**

$$\text{Def. Uni} = \frac{\text{deformación}}{\text{long. compre}} * \left( \frac{\text{ER}}{\text{EG} + \text{ER}} \right)$$

$$\text{Def. Uni} = \frac{0.014 \text{ mm}}{167 \text{ mm}} * \left( \frac{121.4 \text{ mm}}{118.9 \text{ mm} + 121.4 \text{ mm}} \right) = 0.00004235 \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$$

$$f'c \text{ max} = \frac{\text{Car. Máxima}}{\text{Área}} = \frac{57093.782 \text{ kg}}{\frac{\pi * 15.163^2}{4} \text{ cm}^2} = 298.62 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$E = \frac{0,4 J_{\text{máx}} - J_{0,00005}}{\varepsilon_{0,4 J_{\text{máx}}} - 0,00005} = \frac{126.47 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} - 16.49 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{0.00046959 \text{ mm} - 0.00005} = 25712.95 \text{ MPa}$$

$$Factor = \frac{E}{\sqrt{f'c}} = \frac{25712.95 * 10.2 \frac{kg}{cm^2}}{\sqrt{298.62kg/cm^2}} = 14749.85$$

### 5.3.1 Cilindro con 0.00% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)

**Tabla 5.6 Lectura de deformación en cilindros con 0.00% de residuos de envases de botella PET**

Longitud en el compresómetro	167	mm	Peso	12280.00	gr
Altura del cilindro	304.35	mm	Volumen	5496013.55	mm <sup>3</sup>
Diámetro del cilindro	151.63	mm	Peso unitario	2.23	gr/mm <sup>3</sup>
Carga máxima	560090	N			
Carga al 40%	224036	N	<b>f'c Máximo</b>	<b>316.18</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
Esfuerzo al 40%	126.47	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>E</b>	<b>25712.95</b>	<b>MPa</b>
EG	118.9	mm	factor	14749.85	
ER	121.4	mm			

Carga	Lectura de deformación	Deformación	Esfuerzo	Deformación Unitaria
N	Deformímetro	Mm	Kg/cm <sup>2</sup>	mm/mm
0	0	0	0	0.00000000
25000	14	0.014	14.11	0.00004235
50000	29	0.029	28.23	0.00008773
75000	44	0.044	42.34	0.00013311
100000	60	0.06	56.45	0.00018151
125000	78	0.078	70.56	0.00023596
150000	97	0.097	84.68	0.00029344
175000	116	0.116	98.79	0.00035092
200000	136	0.136	112.90	0.00041142
225000	156	0.156	127.01	0.00047193
250000	176	0.176	141.13	0.00053243
275000	198	0.198	155.24	0.00059898
300000	220	0.22	169.35	0.00066554
325000	243	0.243	183.47	0.00073511
350000	270	0.27	197.58	0.00081679
375000	298	0.298	211.69	0.00090150
400000	331	0.331	225.80	0.00100133
425000	364	0.364	239.92	0.00110116
450000	397	0.397	254.03	0.00120099
475000	434	0.434	268.14	0.00131292
500000	472	0.472	282.25	0.00142788

1era. Interpolación	
200000	0.0004114
224036	0.00046959
225000	0.0004719
2da. Interpolación	
14.11	0.0004235
16.49	0.00005
28.23	0.00008773

525000	517	0.517	296.37	0.00156401
550000	589	0.589	310.48	0.00178182
560090	662	0.662	316.18	0.00200266

### 5.3.2 Cilindro con 0.5% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)

**Tabla 5.7. Lectura de deformación en cilindros con 0.5% de residuos de envases de botella PET**

Longitud en el compresómetro	167	mm	Peso	12.26	gr
Altura del cilindro	303.67	mm	Volumen	5510286.49	mm <sup>3</sup>
Diámetro del cilindro	152	mm	Peso unitario	2.22	gr/mm <sup>3</sup>
Carga máxima	431020	N			
Carga al 40%	172408	N	<b>f'c Máximo</b>	<b>242.13</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
Esfuerzo al 40%	96.85	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>E</b>	<b>21255.86</b>	<b>MPa</b>
EG	121.8	mm	factor	13933.27	
ER	121	mm			

Carga	Lectura de deformación	Deformación	Esfuerzo	Deformación Unitaria
N	Deformímetro	mm	Kg/cm <sup>2</sup>	mm/mm
0	0	0	0.00	0.00000000
25000	14	0.014	14.04	0.00004178
50000	31	0.031	28.09	0.00009251
75000	50	0.05	42.13	0.00014921
100000	70	0.07	56.18	0.00020889
125000	94	0.094	70.22	0.00028051
150000	118	0.118	84.26	0.00035213
175000	144	0.144	98.31	0.00042972
200000	171	0.171	112.35	0.00051029
225000	200	0.2	126.40	0.00059683
250000	232	0.232	140.44	0.00069232
275000	265	0.265	154.49	0.00079080
300000	299	0.299	168.53	0.00089226
325000	335	0.335	182.57	0.00099969
350000	373	0.373	196.62	0.00111309
375000	418	0.418	210.66	0.00124737
400000	474	0.474	224.71	0.00141449
425000	558	0.558	238.75	0.00166515
431020	599	0.599	242.13	0.00178750

1era. Interpolación	
150000	0.0003521
172408	0.0004217
175000	0.0004297
2da. Interpolación	
14.04	0.00004178
16.32	0.00005
28.09	0.00009251

### 5.3.3 Cilindro con 1.0% de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)

**Tabla 5.8. Lectura de deformación en cilindros con 1.0% de residuos de envases de botella PET**

Longitud en el compresómetro	167	mm	Peso	12.21	gr
Altura del cilindro	301.17	mm	Volumen	5405163.77	mm <sup>3</sup>
Diámetro del cilindro	151.17	mm	Peso unitario	2.26	gr/mm <sup>3</sup>
Carga máxima	535280	N			
Carga al 40%	214112	N	<b>f'c Máximo</b>	<b>304.01</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
Esfuerzo al 40%	121.60	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>E</b>	<b>24066.13</b>	<b>MPa</b>
EG	119.3	mm	factor	14078.65	
ER	121.1	mm			

Carga	Lectura de deformación	Deformación	Esfuerzo	Deformación Unitaria
N	Deformímetro	mm	Kg/cm <sup>2</sup>	mm/mm
0	0	0	0.00	0.00000000
25000	16	0.016	14.20	0.00004826
50000	31	0.031	28.40	0.00009351
75000	47	0.047	42.60	0.00014177
100000	65	0.065	56.79	0.00019607
125000	84	0.084	70.99	0.00025338
150000	104	0.104	85.19	0.00031371
175000	125	0.125	99.39	0.00037705
200000	148	0.148	113.59	0.00044643
225000	171	0.171	127.79	0.00051581
250000	197	0.197	141.99	0.00059424
275000	223	0.223	156.19	0.00067266
300000	250	0.25	170.38	0.00075411
325000	280	0.28	184.58	0.00084460
350000	310	0.31	198.78	0.00093509
375000	341	0.341	212.98	0.00102860
400000	373	0.373	227.18	0.00112513
425000	406	0.406	241.38	0.00122467
450000	448	0.448	255.58	0.00135136
475000	491	0.491	269.78	0.00148107
500000	551	0.551	283.97	0.00166205
525000	641	0.641	298.17	0.00193353
535280	701	0.701	304.01	0.00211452

1era. Interpolación	
200000	0.0004464
214112	0.0004856
225000	0.0005158
2da. Interpolación	
14.20	0.00004826
14.74	0.00005
28.40	0.00009351

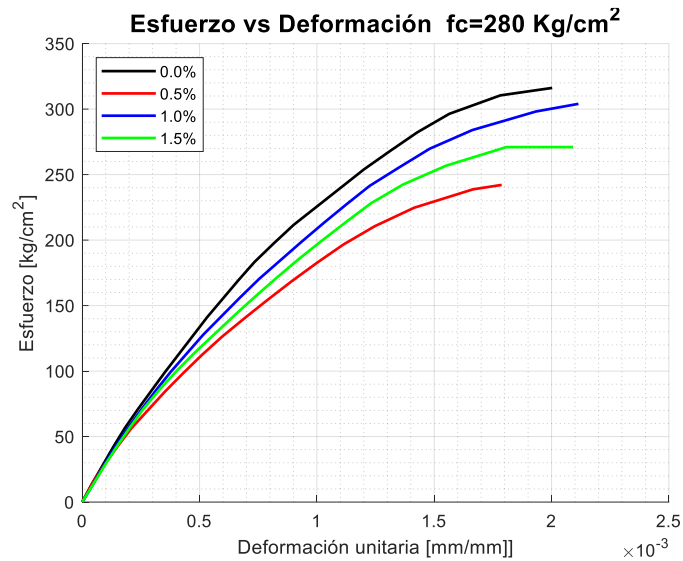
### 5.3.4 Cilindro con 1.5 % de residuos de envases de botella PET (tereftalato de polietileno)

**Tabla 5.9. Lectura de deformación en cilindros con 1.0% de residuos de envases de botella PET**

Longitud en el compresómetro	167	mm	Peso	12.16	gr
Altura del cilindro	300.83	mm	Volumen	5375396.38	mm <sup>3</sup>
Diámetro del cilindro	150.83	mm	Peso unitario	2.26	gr/mm <sup>3</sup>
Carga máxima	475030	N			
Carga al 40%	190012	N	<b>f'c Máximo</b>	<b>271.01</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>
Esfuerzo al 40%	108.40	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>E</b>	<b>23135.69</b>	<b>MPa</b>
EG	118.9	mm	factor	14334.72	
ER	121.9	mm			

Carga	Lectura de deformación	Deformación	Esfuerzo	Deformación Unitaria
N	Deformímetro	mm	Kg/cm <sup>2</sup>	mm/mm
0	0	0	0.00	0.00000000
25000	16.2	0.0162	14.26	0.00004911
50000	32.2	0.0322	28.53	0.00009761
75000	49.2	0.0492	42.79	0.00014914
100000	67.2	0.0672	57.05	0.00020370
125000	86.2	0.0862	71.31	0.00026130
150000	108.2	0.1082	85.58	0.00032799
175000	132.2	0.1322	99.84	0.00040074
200000	158.2	0.1582	114.10	0.00047955
225000	186.2	0.1862	128.37	0.00056443
250000	214.2	0.2142	142.63	0.00064931
275000	243.2	0.2432	156.89	0.00073722
300000	273.2	0.2732	171.15	0.00082815
325000	304.2	0.3042	185.42	0.00092213
350000	337.2	0.3372	199.68	0.00102216
375000	371.2	0.3712	213.94	0.00112522
400000	406.2	0.4062	228.21	0.00123132
425000	451.2	0.4512	242.47	0.00136773
450000	511.2	0.5112	256.73	0.00154961
475000	596.2	0.5962	270.99	0.00180727
475030	641.2	0.69	271.01	0.00209161

1era. Interpolación	
175000	0.0004007
190012	0.0004481
200000	0.0004796
2da. Interpolación	
14.26	0.0000491
14.53	0.00005
28.53	0.0000976



**Gráfico 5.7. Esfuerzo vs deformación**

### Interpretación

Al finalizar el ensayo se puede obtener el valor del módulo de Young “E”, el cual se interpreta como una propiedad mecánica del hormigón, este se produce al aplicar una fuerza, las deformaciones de los materiales empleados en la construcción son elásticas y puede llegar hasta cierta deformación máxima dentro del rango elástico, en el caso que las fuerzas exteriores sean muy altas puede producir que el material se fisure y este se termine de fallar.

La relación que se produce entre el esfuerzo y la deformación unitaria de los cilindros de hormigón es lineal, por lo cual se puede interpretar que posee un comportamiento elástico.

La curva del módulo se divide por dos fases: la fase elástica la cual se extiende desde 0% hasta el 40% de la resistencia a la compresión del hormigón y la segunda fase representa la curva y es producido por fisuras las mismas estas comprendidas entre el 40% y 90% de la resistencia.

Es importante conocer el valor del módulo puesto que es utilizado en el cálculo de estructuras de hormigón para realizar en análisis y diseño de una obra civil.

#### 5.4 Ensayo de tensión en muestras cilíndricas de hormigón



El presente ensayo se realizó en base la normativa ASTM C 496M-04, el cual consiste en aplicar una carga a lo largo de la sección longitudinal de la muestra del hormigón (ver figura 5.7). Con el objetivo de establecer el módulo de tracción indirecta. Para calcular el esfuerzo a tensión, se empleó la fórmula 5.4.

**Ilustración 5.7** Ensayo de tensión en muestras cilíndricas de hormigón

$$T = \frac{2P}{\pi ld}$$

#### Fórmula 5.4. Esfuerzo de tensión

Donde:

T: Esfuerzo de tensión (Psi o MPa)

P: Máxima carga aplicada (lbf o N)

l: Longitud (in o mm)

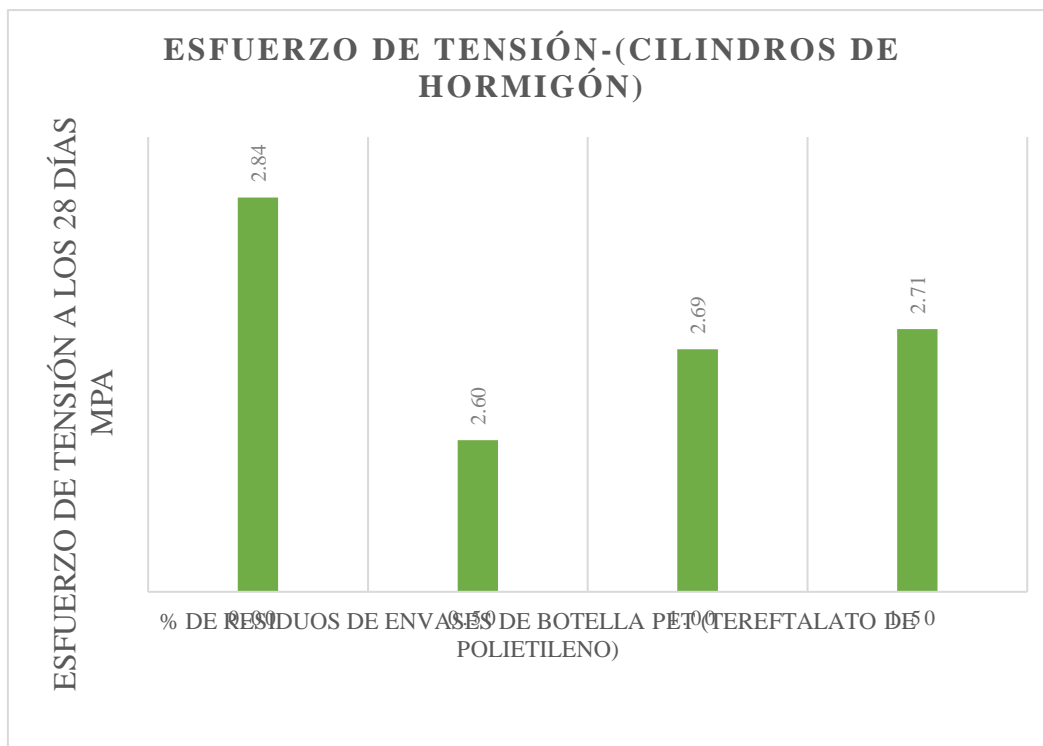
d: diámetro (in o mm)

**Tabla 5.10. Cálculo esfuerzo de tensión**

Muestra N.º	Descripción	Altura	Diámetro	Carga	Esfuerzo de tensión
		mm	mm	N	MPa
1	Muestra Patrón 0.00% de residuos de envases de botella PET.	300.83	150.83	202560.00	2.84
2	0.5 % de residuos de envases de botella PET.	302.33	150.50	185770.00	2.60
3	1.0 % de residuos de envases de botella PET.	300.00	150.83	191050.00	2.69
4	1.5 % de residuos de envases de botella PET.	301.22	149.75	192230.00	2.71



**Figura 5.2. Muestras de cilíndricas de hormigón- Ensayo de tensión**



**Gráfico 5.8. Esfuerzos de tensión a los 28 días**

### **Interpretación**

La normativa ASTM C 496M-04 establece que para cilindros de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura el esfuerzo de tensión debe ser de 2.8 MPa, por ende, se concluye que solo la muestra patrón (0.00% de residuos de envases de botella PET.) cumple con el esfuerzo de tensión establecido por la normativa.

## 5.5 Análisis de resultados

En la presente tabla se resume los ensayos realizados a los agregados finos y grueso.

**Tabla 5.11 Ensayos a los agregados finos y gruesos**

Ensayo	Norma	Observación o Valor	Conclusión
Granulometría agregado grueso	ASTM C 136	Curva granulométrica dentro de los límites establecidos por la norma.	Cumple
Granulometría agregado fino	ASTM C 136	Curva granulométrica dentro de los límites establecidos por la norma.	Cumple
Peso unitario agregado grueso	ASTM C 29	1550.15 kg / m <sup>3</sup>	No tiene rango
Peso unitario agregado fino	ASTM C 29	1540.940 kg / m <sup>3</sup>	No tiene rango
Gravedad específica agregado grueso	ASTM C 127	2.07 %	No tiene rango
Gravedad específica agregado fino	ASTM C 128	2.07%	No tiene rango
Tamiz #200 agregado fino	NTE INEN 696:2011	8.95 %	Mayor a 7% No cumple
Contenido orgánico	ASTM C-40-13.	1	Menor a 3 Cumple
Abrasión	ASTM C 131	28.73 %	Menor a 40% Cumple

Los cilindros obtenidos con la mezcla patrón (sin residuos de envases de botella PET) cumplieron con la resistencia establecida por la normativa ASTM C – 39 a los 7 días, no obstante, los cilindros elaborados con los diferentes porcentajes de botellas PET no cumplieron con la resistencia establecida, por lo tanto, se deduce que al colocar envases de botella PET genera desventajas en el hormigón en cuanto al parámetro de resistencia. Este inconveniente es provocado porque no se realiza una unión química entre los plásticos utilizados en la mezcla y los agregados (fino, grueso & cemento), esto genera vacíos en los cilindros y produce una resistencia disminuida.

Al comparar la resistencia en los cilindros que utilizaron 1% y 1.5% de residuos de envases de botella PET frente a la resistencia de los cilindros que utilizaron 0.5%, los primeros registraron una mayor resistencia, esto podría explicarse debido que, al introducir una mayor cantidad de residuos plásticos estas se pueden acumular en mayor cantidad en un área del cilindro y produzca que la resistencia se incremente, sin embargo, no cumplió con el parámetro de la normativa ASTM C – 39 a los 7 días.

**Tabla 5.12 Ensayo de compresión a cilindros de hormigón**

Muestra	Resistencia característica a los 7 días	Resistencia característica a los 28 días	Conclusión
Muestra Patrón 0.00% de residuos de envases de botella PET.	195.39 kg/cm <sup>2</sup>	285.68 kg/cm <sup>2</sup>	Cumple
Muestra Patrón 0.5 % de residuos de envases de botella PET.	170.24 kg/cm <sup>2</sup>	260.71 kg/cm <sup>2</sup>	No cumple
Muestra Patrón 1.0 % de residuos de envases de botella PET.	178.22 kg/cm <sup>2</sup>	265.99 kg/cm <sup>2</sup>	No cumple
Muestra Patrón 1.5 % de residuos de envases de botella PET.	175.64 kg/cm <sup>2</sup>	262.07 kg/cm <sup>2</sup>	No cumple

Al realizar el ensayo de tensión en las muestras cilíndricas de hormigón se puede determinar que solo cumple con el rango establecido por la normativa ASTM C 496M-04 la muestra patrón.

**Tabla 5.13 Ensayo de esfuerzo de tensión a cilindros de hormigón**

Muestra	Esfuerzo de tensión	Conclusión
Muestra Patrón con 0.00% de residuos de envases de botella PET.	2.84 MPa	Mayor a 2.8 MPa Cumple

## 6 CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

- El agregado de la mina de Holcim, el cual se encuentra ubicado en la parroquia de Pifo, cumple con las condiciones óptimas para la elaboración de cilindros y vigas de hormigón, debido a que los valores obtenidos con los diferentes ensayos se encuentran dentro de los rangos establecidos por las normativas: ASTM e INEN, a excepción del ensayo del tamiz #200 sin embargo los riesgos son mínimas. Para determinar su efectividad se realiza los diferentes ensayos al agregado lo cual se representa en (tabla 5.11)
- Una vez finalizado los ensayos al agregado y verificando que cumpla con los valores establecido por las diferentes normativas, se realizó la dosificación al peso en base a la normativa (ACI 316 : 1974, 2013), para lo cual se ejecutó una dosificación base para la muestra sin residuos de plástico, mientras que la para la muestra con plástico se reduce los diferentes porcentajes de agregado fino y grueso correspondiente al porcentaje en plástico al añadir dando como resultado 24 cilindros y 20 vigas de hormigón.
- Una vez que los cilindros cumplieron con los 7 y 28 días de curado se procedió a realizar el ensayo de compresión, y en base a los datos obtenidos se pudo inferir que los cilindros con 0% de residuos de plástico PET son los únicos que cumple con la resistencia establecida en la normativa ACI a los 7 días del 70% de la resistencia de diseño y a los 28 días al 100% de la resistencia de diseño respectivamente, mientras que en los cilindros con los diferentes porcentajes de plástico, la resistencia al ensayo de compresión disminuye, por ende, se puede inferir que al introducir residuos de plásticos PET en diferentes porcentajes a la mezcla de hormigón produce que la resistencia a la compresión disminuya y su uso en construcciones como: columnas, vigas y losas no es recomendado.
- Asimismo, se realizó el ensayo con las vigas a los 7 y 28 días de terminar el proceso de curado y se puede concluir en base a los cálculos realizados a la resistencia a flexión no presenta una variación muy alta entre vigas sin residuos de plástico PET o con residuos de plástico.

- Al realizar el ensayo de tensión en muestras cilindras de hormigón se pudo determinar que únicamente la muestra patrón cumple con el rango establecido en la norma ASTM C 496M-04.
- El módulo de elasticidad nos permite conocer la relación que se produce entre el esfuerzo y la deformación unitaria y este posee un comportamiento elástico, el valor del módulo es empleado al momento de realizar análisis y diseño de una obra de ingeniería civil en nuestro medio se emplea la siguiente fórmula para conocer el valor del módulo de hormigón  $14100\sqrt{f_c}$  , por lo que se puede concluir que los cilindros realizados con 0.5% de botellas PET no se puede ocupar para el diseño debido a que el valor es menor a lo recomendado por otro lado los cilindros con 1.5% se encuentran al límite del valor recomendado y su uso no sería eficiente.

## 6.2 Recomendaciones

- Se recomienda ensayar los cilindros y las vigas de hormigón lo más pronto que se retiren del proceso de curado, para que las muestras no se sequen debido a que cuando las muestras se secan aumentan más resistencia y no se podría obtener el valor real de resistencia, por lo cual se pueden usar un rociador o mantas húmedas para que estas permanezcan en estado húmedo.
- Se sugiere bajar la resistencia del hormigón o cambiar el elemento a introducir en la mezcla el cual puede ser: fibras de coco o arcilla debido a que son fibras más finas y pequeñas lo cual no produciría tantos vacíos como los residuos de plásticos PET, con el objetivo de encontrar un agregado que logre mantener o subir la resistencia en las muestras a ensayar con el propósito de incentivar a realizar investigaciones y con ello poder ponerlo en práctica en una obra de ingeniería civil.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- ACI 316 : 1974. (2013, 12 01). RECOMMENDATIONS FOR CONSTRUCTION OF CONCRETE PAVEMENTS & CONCRETE BASES. Estados Unidos.
- ACI Committee 211. (2017). Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials. Texas, EE.UU.
- Aguilera, G., & Diestra, V. (2017). Influencia de la fibra de pet a partir de botellas recicladas sobre el comportamiento mecánico en un concreto aplicado en prefabricados. (*Trabajo de investigación para el título de ingeniero ambiental*). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.
- Alesmar, L., Rendón, N., & Korody, M. (2018). Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (pet) - cemento. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 76-86.
- ASTM C31. (2008). *Práctica Normalizada para preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de concreto de obra*. ASTM.
- Basurto, G., & Gonzalez, V. (2021). *Implementación de nanosílice para mejorar las propiedades mecánicas de un hormigón convencional con cemento portland tipo I aplicado en estructuras de hormigón armado en los cantones de Santa Elena, La Libertad y Salinas, Provincia de Santa Elena*. Retrieved from Tesis pregrado, UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6943/1/UPSE-TIC-2022-0009.pdf>
- Botero, E., Muñoz, L., Ossa, A., & Romo, M. (2017). Comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 201-219.
- Construmat. (2018). Aditivos de Hormigón y Mortero. Barcelona, España.
- Enkador. (2018, Diciembre 6). *El blog de Enkador – Textil, Microlimpia, PET [fotografía]*. Retrieved from Enkador: <https://www.enkador.com/blog/el-pet-y-su-ayuda-al-planeta-enkador/>
- Guaminga, E., & Paucar, L. (2012). Estudio comparativo de la reactividad álcali-agregado entre hormigones fabricados con cemento tipo HE y hormigones fabricados con cemento tipo Ip, en combinación con agregado de la zona de el chontal -Ecuador. (*Proyecto Previo a la obtención del título de Ingeniero Civil* ). Repositorio Institucional , Quito.
- Herrería, S., & Villegas, F. (2018). Módulos de Elasticidad y Curvas de Esfuerzo-Deformación, en Base a la Compresión del Hormigón a 21, 28, 35 MPa. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Holcim. (2015). *Cemento hidráulico Tipo GU para la construcción en general*. Guayaquil : Holcim.

- Holcim Ecuador. (n.d.). Cemento Holcim Fuerte, Tipo GU. Ecuador . Retrieved from Repositorio Digital : <https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/2022-07/ficha-holcim-fuerte.pdf>
- Hurtado, J. (2014). Determinación del módulo de rotura en vigas de hormigón, fabricado con materiales procedentes de la cantera Ramírez, para  $f^c = 21$  Mpa. (*Tesis de Pregrado de Ingeniería Civil*). Repositorio Institucional , Quito. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2575/1/T-UCE-0011-90.pdf>
- INECYC. (2011). *Notas Técnicas (Hormigones de alto desempeño)*. Quito. Retrieved from <https://www.inecyc.org.ec/notas-tecnicas/>
- INEN 1 573, N. (2010). NTE INEN 1 573:2010 (figura). *Hormigón de cemento hidráulico. determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*. Quito-Ecuador.
- Isuiza Petit, J. W., & Montoya Doza, R. (2022). *Influencia del aditivo superplastificante en las propiedades físicas y mecánicas del concreto, obtenido a partir de arena cuarzosa de canteras km 60 carretera Iquitos-Nauta.2021*. Repositorio Institucional, Iquitos. Retrieved from <http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1836/ISUIZA%20PETIT%20JACK%20WAGNER%20Y%20%20MONTROYA%20DOZA%20RONALD%20-%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jacho, E., & Quisocala, J. (2021). *Análisis de la resistencia a la compresión del concreto 280kg/cm2 con adición de fibras PET recicladas en Juliaca -Puno*. Retrieved from Universidad César Vallejo: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/66061/Quisocala\\_BJJ-Jacho\\_CEM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/66061/Quisocala_BJJ-Jacho_CEM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Jhayya, L. (2022). *Comportamiento a compresión de hormigón con ripio*. Retrieved from Tesis de pregrado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/11818>
- Landázuri, P., & Vásconez, W. (2019). *Análisis experimental de las propiedades físico-mecánicas de un hormigón de alta*. Retrieved from Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, Universidad Central del Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20126>
- Landázuri, P., & Vásconez, W. (2019). *Análisis experimental de las propiedades físico-mecánicas de un hormigón de alta resistencia elaborado con partículas de nanosílice*. Repositorio digital, Quito-Ecuador. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20126>
- López, L., & Sepúlveda. (2019). *CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE DIFERENTES MUESTRAS DE AGREGADOS PÉTREOS PARA EL CONCRETO - ZONA NORTE DE BOGOTA* . Retrieved from Universidad Católica de Colombia: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1801/3/Articulo-Caracterizacion%20fisica%20de%20agregados.pdf>

- Lugo Mejía, J., & Torres Pérez, Y. (2019). CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO SIMPLE CON ADICIÓN DE FIBRAS POLIMÉRICAS RECICLADAS PET. BOGOTÁ D.C., Colombia. Retrieved from UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
- Moya, J., Guamán, C., & Pinenla, J. (2019). Análisis de las propiedades Físico-Mecánicas de un hormigón elaborado con fibras recicladas de envases PET, con y sin aditivo plastificante. (*Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil*). Repositorio Institucional , Quito.
- NEC. (2014). ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO. Quito, Ecuador.
- NTE . (2011). INEN 872: ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. REQUISITOS. . Quito, Pichincha, Ecuador.
- Pico, R. (2019). *Módulo de elasticidad del hormigón en base a la compresión de ( $f'c= 21,28$ ) Mpa, con materiales de la cantera Megarok de la provincia de Manabí*. Retrieved from Tesis de pregrado UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ: <http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2012/1/UNESUM-ECUADOR-ING.CIVIL-2019-95.pdf>
- Plaza, M. (2016). ESTUDIOS INDUSTRIALES -ORIENTACIÓN ESTRATÉGICA PARA LA TOMA DE DECISIONES. *ESPAE-ESPOL*, 44.
- Pontificia Universidad Católica del Perú. (2017). Norma ASTM C 128-07 Método de prueba estándar para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de agregado fino. Lima, Perú.
- Riva, A. (S.f.). *PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO*. Retrieved from <https://pdfcoffee.com/propiedades-fisicas-y-mecanicas-del-concreto-armado-3-pdf-free.html>
- Romea, C. (2014). *El hormigón: breve reseña histórica de un material milenario*. Catalunya: Omnia Publishe.
- Sanchez Guzman, D. (2001). *Tecnología del Concreto y Mortero* . Bogotá: Bhandar.
- Toirac Corral, J. (2019). LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN, CONDICIÓN NECESARIA PERO NO SUFICIENTE PARA EL LOGRO DE LA DURABILIDAD DE LAS OBRAS. *Ciencia y Sociedad* , 463-504.
- Trujillo, J. (2007). *Resistencia de Materiales*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.
- Universidad Rafael Landívar. (2018). *POLIMEROS*. Retrieved from <https://www.coursehero.com/file/p2bv727/1-FUNDAMENTO-TE%3%93RICO-MARCO-TE%3%93RICO-POL%3%8DMEROS-Un-pol%3%ADmero-es-una-mol%3%A9cula-en/>
- UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA “JOSE SIMEON CAÑAS”. (n.d.). ANALISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR TAMIZADO EN AGREGADO FINO Y GRUESO Y DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ

No. 200 (75  $\mu\text{m}$ ) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO. San Salvador, El Salvador.

## 8 ANEXOS

### Anexo 1. Medida del ER



### Anexo 2. Medida del Eg



### Anexo 3. %Ensayo de peso unitario\_ %Agregado Grueso -ASTM C29 (Matlab)

```
clc;
clear all;
P=8539.0; %masa del molde (gr)
V=9950.0; %Volumen del molde (cm^3)
A=22660.0; %Masa del molde +material suelto (gr)
B=23963.0; %Masa molde + material compacto (gr)
Ms=A-P;%Masa del material suelto(gr)
Mc=B-P;%Masa del material compacto gr)
Pus=(Ms/V)*(1000); %Peso unitario suelto kg / m3
Puc=(Mc/V)*(1000);%Peso unitario compacto kg / m3
format short g
varNames={'Ms_gr', 'Mc_gr', 'Pus_kg_m3', 'Puc_kg_m3'};
T=table(Ms,Mc,Pus,Puc, 'VariableNames',varNames)
```

T = 1x4 table

	Ms_gr	Mc_gr	Pus_kg_m3	Puc_kg_m3
1	14121	15424	1419.2	1550.2

#### Anexo 4. %Ensayo de peso unitario\_ %Agregado Fino-ASTM C29 (Matlab)

```

P2=5050.0; %, masa del molde (gr)
V2=2980.0; %Volumen del molde (cm^3)
A2=9000.0; %Masa del molde +material suelto (gr)
B2=9642.0; %Masa molde + material compacto (gr)
Ms2=A2-P2;%Masa del material suelto(gr)
Mc2=B2-P2;%Masa del material compacto gr)
Pus2=(Ms2/V2)*(1000); %Peso unitario suelto kg / m3
Puc2=(Mc2/V2)*(1000);%Peso unitario compacto kg / m3
format short g
varNames={'Ms2_gr', 'Mc2_gr', 'Pus2_kg_m3', 'Puc2_kg_m3'};
T=table(Ms2,Mc2,Pus2,Puc2, 'VariableNames', varNames)

```

T = 1x4 table

	Ms2_gr	Mc2_gr	Pus2_kg_m3	Puc2_kg_m3
1	3950	4592	1325.5	1540.9

#### Anexo 5. %Ensayo de gravedad específica \_ %Agregado grueso-ASTM C29 (Matlab)

```

Ms3=5356.00; %Masa de la muestra seca (gr)
Mss3=5467.00; %Masa de la muestra saturada con superficie seca (gr)
Mms3=3224.00; %Masa aparente de la muestra saturada con superficie seca (gr)
Ge=(Ms3)/(Mss3-Mms3); %Gravedad especifica seca (gr)
Ges=(Mss3)/(Mss3-Mms3);%Gravedad especifica saturada con superficie seca (gr)
Gea=(Ms3)/(Ms3-Mms3);%Gravedad especifica aparente (gr)
Pa=((Mss3-Ms3)/(Ms3))*100;%Porcentaje de absorción
varNames={'Ge_gr', 'Ges_gr', 'Gea_gr', 'Pa_Porcentaje'};
T=table(Ge,Ges,Gea,Pa, 'VariableNames', varNames)

```

T = 1x4 table

	Ge_gr	Ges_gr	Gea_gr	Pa_Porcentaje
1	2.3879	2.4374	2.5122	2.0724

### Anexo 6. %Ensayo de gravedad específica \_ Agregado Fino -ASTM C128 (Matlab)

```
Mm=151.20; %Masa del matraz gr
Mma=690.70;%Masa del matraz + agua B (gr)
Mcma=993.40;%Masa conjunto matraz, agua y muestra C (gr)
Mms4=500.70;%Masa de muestra saturada con superficie seca S (gr)
Ma4=485.80;%Masa de la muestra seca A (gr)
Ge2=(Ma4)/(Mma+Mms4-Mcma);%Gravedad especifica seca (gr)
Ges2=(Mms4)/(Mma+Mms4-Mcma);%Gravedad especifica saturada con superficie seca (gr)
Gea2=(Ma4)/(Mma+Ma4-Mcma);%Gravedad especifica aparente (gr)
Pa2=((Mms4-Ma4)/(Ma4))*100;%Porcentaje de absorción (%)
varNames={'Ge2_gr', 'Ges2_gr', 'Gea2_gr', 'Pa2_Porcentaje'};
T=table(Ge2,Ges2,Gea2,Pa2, 'VariableNames', varNames)
```

T = 1x4 table

	Ge2_gr	Ges2_gr	Gea2_gr	Pa2_Porcentaje
1	2.4535	2.5288	2.6532	3.0671

### Anexo 7. Abrasión ASTM C131

```
Maim=5002.00; %Masa inicial de la muestra (gr)
Mrt500r=3565.00;%Masa retenida en el tamiz N.º 12 después de 500 revoluciones (gr)
Mp200=(Maim-Mrt500r);%Masa que pasa el tamiz N.º 12
Pd=(Mp200/Maim)*100;%Porcentaje de desgaste (%)
varNames={'Maim_gr', 'Mrt500r_gr', 'Mp200_gr', 'Pd_Porcentaje'};
T=table(Maim,Mrt500r,Mp200,Pd, 'VariableNames', varNames)
```

T = 1x4 table

	Maim_gr	Mrt500r_gr	Mp200_gr	Pd_Porcentaje
1	5002	3565	1437	28.729

## Anexo 8. Matlab empleado para la gráfica esfuerzo – deformación

```
clc;

clear;

%Leer Datos

M1=xlsread("modulo-0_0.xlsx");

M2=xlsread("modulo-0_5.xlsx");

M3=xlsread("modulo-1_0.xlsx");

M4=xlsread("modulo-1_5.xlsx");

hold on

%Gráficas

plot(M1(:,1),M1(:,2),'linestyle','-','color','black','linewidth',1.5)

plot(M2(:,1),M2(:,2),'linestyle','-','color','red','linewidth',1.5)

plot(M3(:,1),M3(:,2),'linestyle','-','color','blue','linewidth',1.5)

plot(M4(:,1),M4(:,2),'linestyle','-','color','green','linewidth',1.5)

legend('0.0%','0.5%','1.0%','1.5%','Location','northwest')

title('Esfuerzo vs Deformación  $f_c=280 \text{ Kg/cm}^2$ ','FontSize',14)

xlabel('Deformación unitaria [mm/mm]')

ylabel('Esfuerzo [kg/cm^2]')

grid on

grid minor
```

# Anexo 9. Ensayo de caracterización de materiales

## ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES



FECHA \_\_\_\_\_  
 Orden No. \_\_\_\_\_  
 PROYECTO Ensayo de integración curricula - Alexis Quispe

GRANULOMETRÍA COMPLETA - MATERIAL COMBINADO			
Tamiz (plg)	Muestra	Muestra	Muestra
Identificación Material			
Masa inicial muestra			
3			
2 1/2			
2			
1 1/2			
1			
3/4			
1/2			
3/8			
No. 4			
Pasa No. 4			
No. 8			
No. 16			
No. 30			
No. 50			
No. 100			
No. 200			
Pasa No. 100/200			

GRANULOMETRÍA ARIDO GRUESO			
Tamiz (plg)	Muestra	Muestra	Muestra
Identificación Material	78554,00	gr	
Masa inicial muestra			
3			
2 1/2			
2			
1 1/2			
1	0	gr	
3/4	3990,00	gr	
1/2	8494,00	gr	
3/8	1637,00	gr	
No. 4	4106,00	gr	
Pasa No. 4	253,00	gr	

GRANULOMETRÍA ARIDO FINO			
Tamiz (plg)	Muestra	Muestra	Muestra
Identificación Material	540,60	gr	
Masa inicial muestra			
1/2			
3/8			
No. 4	1,15	gr	
PASA No. 4			
No. 8	100,20	gr	
No. 16	125,00	gr	
No. 30	90,80	gr	
No. 50	91,10	gr	
No. 100	90,00	gr	
Pasa No. 100	47,35	gr	
Masa inicial Pasa N 4 por cuarto			

GRAVEDAD ESPECÍFICA ARIDO GRUESO			
Muestra No.	Muestra	Muestra	Muestra
Identificación			
Masa seca (gr)	5356,00		
Masa sss (gr)	5467,00		
Masa aparente (gr)	3224,00		

GRAVEDAD ESPECÍFICA ARIDO FINO			
Muestra No.	Muestra	Muestra	Muestra
Identificación			
Masa matraz (gr)	197,20		
Mm+H2O+Muestra (gr)	190,70		
Masa sss (gr)	500,70		
Masa seca (gr)	485,80		

PESO UNITARIO ÁRIDO GRUESO			
Muestra No.	Muestra	Muestra	Muestra
Identificación			
Masa molde (gr)	89390,00		
Volumen molde (cm3)	9950,00		
Mm + M. suelta (gr)	22660,00		
Mm + M. compacto (gr)	23963,00		

PESO UNITARIO ÁRIDO FINO			
Muestra No.	Muestra	Muestra	Muestra
Identificación			
Masa molde (gr)	5050,00		
Volumen molde (cm3)	2980,00		
Mm + M. suelta (gr)	9000,00		
Mm + M. compacto (gr)	9642,00		

ABRASIÓN			
Muestra No.	Muestra	Muestra	Muestra
Identificación	1		
Tipo	B		
Masa inicial (gr)	5002,00		
Masa retenida Tamiz N°12 (gr)	1437,00		
300 revoluciones (gr)	3565,00		

CONTENIDO ORGÁNICO			
Muestra No.	Muestra	Muestra	Muestra
Identificación			
Muestra No.	1		
Valor en la escala	1		

CONTENIDO DE HUMEDAD			
Muestra No.	Muestra	Muestra	Muestra
Identificación			
Tarro No.			
Masa natural (gr)			
Peso del tarro			
Masa muestra húmeda + tarro (gr)			
Masa muestra seca + tarro (gr)			
Contenido de humedad			

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD  
 ENSAYO Abraham Piñacho  
 INFORME \_\_\_\_\_

*[Signature]* GEOSOIL Cia Ltda

## Anexo 10. Ensayo de caracterización de materiales II

### ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARTE II



FECHA \_\_\_\_\_  
 Orden No. \_\_\_\_\_  
 PROYECTO Ensayo de integración curricular - Alexis Buitrago

GRANULOMETRÍA TERRONES Y PARTICULAS DESMENUZABLES - AGREGADO GRUESO			
Tamiz (p/g)	Muestra ___	Muestra ___	Muestra ___
Identificación Material			
Masa inicial muestra			
3/4			
1/2			
3/8			
No. 4			

TERRONES Y PARTICULAS DESMENUZABLES AGREGADO GRUESO			
No. TAMIZ PASA	No. TAMIZ RETIENE	MASA INICIAL	MASA FINAL
1 1/2"	3/4"		
3/4"	3/8"		
3/8"	Nº 4		

TERRONES Y PARTICULAS DESMENUZABLES AGREGADO FINO	
MASA INICIAL DE LA MUESTRA:	
MASA FINAL RETENIDA TAMIZ No. 20	

GRANULOMETRÍA SULFATOS - AGREGADO GRUESO			
Tamiz (p/g)	Muestra ___	Muestra ___	Muestra ___
Identificación Material			
Masa inicial muestra			
1 1/2			
1"			
3/4"			
1/2"			
3/8"			
No. 4			

DESGASTE A LOS SULFATOS - AGREGADO GRUESO			
DESIGNACIÓN DE TAMIZ STANDAR		MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO	MASA DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO
PASA	RETIENE		
2	1 1/2"		
1 1/2"	1"		
1"	3/4"		
3/4"	1/2"		
1/2"	3/8"		
3/8"	No. 4		

GRANULOMETRÍA SULFATOS - AGREGADO FINO			
No. 4			
No. 8			
No. 16			
No. 30			
No. 50			
No. 100			

DESGASTE A LOS SULFATOS - AGREGADO FINO			
DESIGNACIÓN DE TAMIZ STANDAR		MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO	MASA DE LAS FRACCIONES DESPUES DEL ENSAYO
PASA	RETIENE		
	No. 4		
No. 4	No. 8		
No. 8	No. 16		
No. 16	No. 30		
No. 30	No. 50		

TAMIZ 200 - AGREGADO GRUESO		
	Muestra <u>1</u>	Muestra ___
MASA INICIAL DE LA MUESTRA:	<u>3000,00</u>	
MASA FINAL DE LA MUESTRA:	<u>2972,00</u>	

COMPRESIÓN DE NÚCLEO EN ROCA		
DIAMETRO SUPERIOR		
DIAMETRO MEDIO		
DIAMETRO INFERIOR		
H INICIAL		

TAMIZ 200 - AGREGADO FINO		
	Muestra ___	Muestra ___
MASA INICIAL DE LA MUESTRA:	<u>307,10</u>	
MASA FINAL DE LA MUESTRA:	<u>279,60</u>	

P <sub>cap</sub> - M <sub>HEM</sub>		
P <sub>cap</sub> - M <sub>SEC</sub>		
P CAPSULA		
W (%)		

EQUIVALENTE DE ARENA		
	Muestra ___	Muestra ___
LECTURA INICIAL:		
LECTURA FINAL:		

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD	
ENSAYO	<u>Abraham Paillocho</u>
INFORME	

*Abraham Paillocho*  
 GEOSOL Cia Ltda

## Anexo 11. Hoja de campo-resistencia de materiales



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 N°:												
Probeta N°	Ensayo de compresión		Ensayo de compresión		Modulo de elasticidad		Ensayo de tensión					
Identificación	cilindro 1		cilindro 2		cilindro 3		cilindro 4		cilindro 5		cilindro 6	
Descripción	Hormón Petros											
Resistencia de diseño esperada a los 28 días MPa <input type="checkbox"/> Kg/cm2 <input type="checkbox"/>												
Fecha de fabricación (día/mes/año)	27/09/22		27/09/22		27/09/22		27/09/22		27/09/22		27/09/22	
Fecha de ensayo (día/mes/año)	4/10/22		4/10/22		25/10/22		25/10/22		25/10/22		25/10/22	
Desviación de la Superficie de Carga (mm)	7.106		7.105		28 días		28 días		28 días		28 días	
Desviación al eje Transversal de la probeta(mm/100mm)												
Desviación al eje Longitudinal de la probeta(mm/100mm)												
Díámetro 1 (mm)	150,00		151,00		152,50		150,00		151,50		150,50	
Díámetro 2 (mm)	151,00		152,00		153,00		151,00		151,80		150,00	
Díámetro 3 (mm)	150,50		151,50		152,90		152,00		151,60		152,00	
Altura 1 (mm)	300,00		304,00		304,00		300,00		304,35		302,00	
Altura 2 (mm)	301,00		300,50		304,00		302,00		304,34		300,50	
Altura 3 (mm)	300,00		300,00		305,10		301,50		304,35		300,00	
Masa (Kg)	12,32		12,29		12,28		12,30		12,28		12,29	
Hora de ensayo (hh:mm)	14:00 am		14:10 pm		7:00 am		7:10 am		7:10 am		7:40 am	
Carga máxima (KN)	345360,00		346350,00		516190,00		516200,00		Carga última 540090		202860,00	
Tipo de falla	5		4		4		4					
FIRMAS DE RESPONSABILIDAD												
PREPARA	Alexis Quishpe											
ENSAYA	Abraham Fallaño											
INFORME												

## Anexo 12. Hoja de campo-resistencia de materiales 0.5% PET



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 N°:												
Probeta N°	Ensayo de compresión		Ensayo de compresión		Modulo de elasticidad		Ensayo de tensión					
Identificación	cilindro 1		cilindro 2		cilindro 3		cilindro 4		cilindro 5		cilindro 6	
Descripción	Dis Petros		PET (Hormón)									
Resistencia de diseño esperada a los 28 días MPa <input type="checkbox"/> Kg/cm2 <input type="checkbox"/>												
Fecha de fabricación (día/mes/año)	27/09/22		27/09/22		27/09/22		27/09/22		27/09/22		27/09/22	
Fecha de ensayo (día/mes/año)	4/10/22		4/10/22		25/10/22		25/10/22		25/10/22		25/10/22	
Desviación de la Superficie de Carga (mm)	7 días		7 días		28 días		28 días		28 días		28 días	
Desviación al eje Transversal de la probeta(mm/100mm)												
Desviación al eje Longitudinal de la probeta(mm/100mm)												
Díámetro 1 (mm)	151,20		152,50		152,90		151,00		152,70		150,50	
Díámetro 2 (mm)	152,10		152,50		151,80		152,00		151,80		150,00	
Díámetro 3 (mm)	151,31		152,20		153,50		152,00		152,90		151,90	
Altura 1 (mm)	300,00		303,00		301,00		302,00		304,00		302,50	
Altura 2 (mm)	301,00		302,00		305,00		301,50		304,00		302,00	
Altura 3 (mm)	300,00		308,50		305,00		302,00		308,00		302,50	
Masa (Kg)	11,97		11,98		12,29		12,27		12,26		12,27	
Hora de ensayo (hh:mm)	14:20 am		14:30 pm		7:50 am		8:00 am		8:10 am		8:30 am	
Carga máxima (KN)	305230,00		303500,00		468990,00		463310,00		Carga última 431020,00		185770,00	
Tipo de falla	5		5		4		4					
FIRMAS DE RESPONSABILIDAD												
PREPARA	Alexis Quishpe											
ENSAYA	Abraham Fallaño											
INFORME												

## Anexo 13. Hoja de campo-resistencia de materiales 1.0%



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 N°:								OBSERVACIONES
Probeta N°								
Identificación	Ensayo de compresión	Ensayo de compresión	Ensayo de compresión	Ensayo de compresión	Módulo de elasticidad	Ensayo de tensión		
Descripción	10x20x20x20 (Cilindros)	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Cilindro 4	Cilindro 5	Cilindro 6	
Resistencia de diseño esperada a los 28 días MPa <input type="checkbox"/> Kg/cm2 <input type="checkbox"/>								
Fecha de fabricación (día/mes/año)	27/10/12	27/10/12	27/10/12	27/10/12	27/10/12	27/10/12	27/10/12	
Fecha de ensayo (día/mes/año)	4/11/12	4/11/12	25/10/12	25/10/12	25/10/12	25/10/12	25/10/12	
Desviación de la Superficie de Carga (mm)	7 días	7 días	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	
Desviación al eje Transversal de la probeta (mm/100mm)								
Desviación al eje Longitudinal de la probeta (mm/100mm)								
Diámetro 1 (mm)	152,60	151,70	150,00	150,00	150,50	150,50	150,50	
Diámetro 2 (mm) y Diámetro 3	152,60 151,90	152,70 151,70	150,50 150,00	150,50 151,00	151,00 152,00	151,00 152,00	150,00 152,00	
Altura 1 (mm)	303,00	300,00	304,00	300,00	301,00	301,00	301,00	
Altura 2 (mm)	302,00	299,00	305,00	300,00	301,00	301,00	299,00	
Altura 3 (mm)	302,00	300,00	302,00	300,00	301,50	301,00	300,00	
Masa (Kg)	12,05	12,08	12,25	12,20	12,21	12,21	12,22	
Hora de ensayo (h:min)	14:40 pm	14:50 pm	8:30 am	8:50 am	9:00 am	9:00 am	9:20 am	
Carga máxima (KN) (W)	320040,00	320070,00	466230,00	465290,00	Carga última 55280,00	55280,00	191050,00	
Tipo de falla	5	4	4	4				
FIRMAS DE RESPONSABILIDAD								FIRMAS RESPONSABLES DE FISCALIZACIÓN DE ENSAYOS
PREPARA	Aleis Quispe							
ENSAYA	Abraham Fallacho							
INFORME								

## Anexo 14. Hoja de campo-resistencia de materiales 1.5%



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 N°:								OBSERVACIONES
Probeta N°								
Identificación	Ensayo de compresión	Ensayo de compresión	Ensayo de compresión	Ensayo de compresión	Módulo de elasticidad	Ensayo de tensión		
Descripción	15x20x20x20 (Cilindros)	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Cilindro 4	Cilindro 5	Cilindro 6	
Resistencia de diseño esperada a los 28 días MPa <input type="checkbox"/> Kg/cm2 <input type="checkbox"/>								
Fecha de fabricación (día/mes/año)	27/10/12	27/11/12	27/10/12	27/10/12	27/10/12	27/10/12	27/10/12	
Fecha de ensayo (día/mes/año)	4/11/12	4/11/12	25/10/12	25/10/12	25/10/12	25/10/12	25/10/12	
Desviación de la Superficie de Carga (mm)	7 días	7 días	28 días	28 días	28 días	28 días	28 días	
Desviación al eje Transversal de la probeta (mm/100mm)								
Desviación al eje Longitudinal de la probeta (mm/100mm)								
Diámetro 1 (mm)	152,10	151,20	150,90	151,70	150,50	150,50	150,10	
Diámetro 2 (mm) y Diámetro 3	152,20 151,30	150,30 150,90	152,30 151,30	151,80 151,70	150,00 152,00	151,00 152,00	150,10 149,00	
Altura 1 (mm)	301,00	300,00	300,00	300,00	301,50	301,50	301,20	
Altura 2 (mm)	300,00	299,00	301,00	301,00	300,00	300,00	301,25	
Altura 3 (mm)	300,00	300,00	302,00	300,00	301,00	301,00	301,22	
Masa (Kg)	12,04	12,01	12,18	12,17	12,16	12,17	12,17	
Hora de ensayo (h:min)	15:00 pm	15:10 pm	9:30 am	9:40 am	9:50 am	9:50 am	10:15 am	
Carga máxima (KN) (W)	312050,00	312110,00	465080,00	465210,00	Carga última 475030,00	475030,00	192230,00	
Tipo de falla	5	4	4	4				
FIRMAS DE RESPONSABILIDAD								FIRMAS RESPONSABLES DE FISCALIZACIÓN DE ENSAYOS
PREPARA	Aleis Quispe							
ENSAYA	Abraham Fallacho							
INFORME								

## Anexo 15. Resistencia a la flexión de vigas muestra patrón



### RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS

Orden No. \_\_\_\_\_

Muestra No.	Vigas a los 7 días		Vigas a los 28 días							
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4	Viga 5					
Identificación	Muestra Patrón	Muestra Patrón	Muestra Patrón	Muestra Patrón	Muestra Patrón					
Fecha de fabricación	27109122	27109122	27109122	27109122	27109122					
Fecha de Ensayo	4110122	4110122	25110122	25110122	25110122					
Longitud (mm)	546,00	546,00	546,00	546,00	546,00					
Ancho (mm)	151,00 151,00	151,30 151,30	151,08 151,05	150,60 150,50	151,20 151,25					
Altura (mm)	150,00 151,50	151,00 150,75	150,00 151,50	151,50 151,50	151,30 151,20					
Longitud de apoyo (mm)	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00					
Masa (gr)	27842,00	27720,00	27260,00	26650,00	27150,00					
Carga Máxima (N)	25860,00	30020,00	5410,00	30520,00	30650,00					

#### Firmas de responsabilidad

Prepara	Alain Durbin									
Ensayo	Abraham	Kilicho								
Informe										

GEOSOL Cia Ltda

## Anexo 16. Resistencia a la flexión de vigas 0.5% PET



### RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS

Orden No. \_\_\_\_\_

Muestra No.	Vigas a los 7 días		Vigas a los 28 días							
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4	Viga 5					
Identificación	0,5% Bataño	0,5% Bataño	0,5% Bataño	0,5% Bataño	0,5% Bataño					
Fecha de fabricación	27109122	27109122	27109122	27109122	27109122					
Fecha de Ensayo	4110122	4110122	25110122	25110122	25110122					
Longitud (mm)	546,00	546,00	546,00	546,00	546,00					
Ancho (mm)	151,10 151,10	151,08 151,00	152,00 151,20	151,10 151,17	151,15 151,18					
Altura (mm)	150,00 151,50	151,00 151,30	152,00 152,30	152,00 151,30	150,50 150,50					
Longitud de apoyo (mm)	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00					
Masa (gr)	27160,00	27110,00	27150,00	27110,00	27150,00					
Carga Máxima (N)	22280,00	22270,00	22440,00	22300,00	22450,00					

#### Firmas de responsabilidad

Prepara	Alain Durbin									
Ensayo	Abraham	Kilicho								
Informe										

GEOSOL Cia Ltda

## Anexo 17. Resistencia a la flexión de vigas



### RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS

Orden No. \_\_\_\_\_

Muestra No.	Vigas a los 7 días		Vigas a los 28 días		
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4	Viga 5
Identificación	10% Botellas PET (17 unidades)		10% Botellas PET (17 unidades)		
Fecha de fabricación	27/09/22	27/09/22	27/09/22	27/09/22	27/09/22
Fecha de Ensayo	4/10/22	4/10/22	25/10/22	25/10/22	25/10/22
Longitud (mm)	546,00	546,00	546,00	546,00	546,00
Ancho (mm)	157,10 156,00	157,12 157,00	151,00 150,00	151,00 150,35	151,30 151,40
Altura (mm)	150,00 152,20	151,20 151,50	150,00 150,20	150,80 151,85	151,50 151,80
Longitud de apoyo (mm)	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00
Masa (gr)	27520,00	27480,00	27260,00	27250,00	27230,00
Carga Máxima (N)	24780,00	24760,00	23250,00	22860,00	22490,00

#### Firmas de responsabilidad

Prepara	Alex Riquelme								
Ensayo	Alfonso Riquelme								
Informe									

*[Handwritten signature]*

GEOSOIL S.A. Ltda

## Anexo 18. Resistencia a la flexión de vigas 1.5 % PET



### RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS

Orden No. \_\_\_\_\_

Muestra No.	Vigas a los 7 días		Vigas a los 28 días		
	Viga 1	Viga 2	Viga 3	Viga 4	Viga 5
Identificación	1,5% Botellas PET (17 unidades)		1,5% Botellas PET (17 unidades)		
Fecha de fabricación	27/09/22	27/09/22	27/09/22	27/09/22	27/09/22
Fecha de Ensayo	4/10/22	4/10/22	25/10/22	25/10/22	25/10/22
Longitud (mm)	546,00	546,00	546,00	546,00	546,00
Ancho (mm)	151,12 151,05	151,08 151,05	151,00 151,30	151,50 151,60	152,00 152,10
Altura (mm)	150,05 151,20	150,00 151,80	153,00 153,00	152,00 152,20	152,10 152,05
Longitud de apoyo (mm)	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00
Masa (gr)	27320,00	27280,00	27220,00	27230,00	27220,00
Carga Máxima (N)	22420,00	22430,00	23070,00	23060,00	23040,00

#### Firmas de responsabilidad

Prepara	Alex Riquelme								
Ensayo	Alfonso Riquelme								
Informe									

*[Handwritten signature]*

GEOSOIL S.A. Ltda