



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

---

**“COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL FRENTE A UN HORMIGÓN EN BASE A PET RECICLADO Y FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”**

---

**AUTOR:** Jhojaan Alexander Villacrés Yépez

**TUTOR:** Ing. Mg. Fidel Alberto Castro Solórzano

**Ambato – Ecuador**

**Septiembre - 2021**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL FRENTE A UN HORMIGÓN EN BASE A PET RECICLADO Y FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”**, elaborado por el Sr. **Jhojaan Alexander Villacrés Yépez**, portador de la cedula de ciudadanía: **C.I. 160064841-2**, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2021

---

**Ing. Mg. Fidel Alberto Castro Solórzano**

**TUTOR**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Jhojaan Alexander Villacrés Yépez** con C.I: **160064841-2**, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL FRENTE A UN HORMIGÓN EN BASE A PET RECICLADO Y FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2021



---

**Jhojaan Alexander Villacrés Yépez**

**CI: 160064841-2**

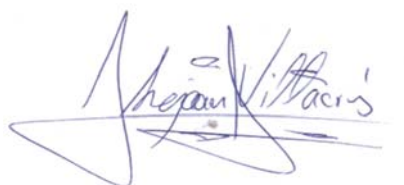
**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Septiembre 2021



---

**Jhojaan Alexander Villacrés Yépez**

**CI: 1600648412**

**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Jhojaan Alexander Villacrés Yépez. de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DEL HORMIGÓN TRADICIONAL FRENTE A UN HORMIGÓN EN BASE A PET RECICLADO Y FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR”**

Ambato, Septiembre 2021

Para constancia firman

---

**Ing. Myriam Marisol Bayas Altamirano Mg.**

**Miembro Calificador**

---

**Ing. Mg. Diego Sebastián Chérrez Gavilanes**

**Miembro Calificador**

## DEDICATORIA

A mis padres Mesías Villacrés y Doris Yépez, por ser una parte muy importante y demostrarme siempre su comprensión y paciencia sin importar nuestra diferente forma de ver la vida, han sabido guiarme, aconsejarme y sobretodo estuvieron presentes en todo momento, de quienes estoy muy orgulloso de tenerlos aún junto a mí. Gracias por siempre incentivarne a no rendirme ante la adversidad y sobre todo gracias por nunca dejar de confiar en mí.

A mi hermana Monserrath pese a nuestra forma de ser tan contraria, siempre ha sido alguien que ha estado en todo momento, y me ha demostrado que el cariño y el amor de una hermana es incondicional.

A mi segunda familia que me acogió por tantos años en Ambato, con los cuales compartí muchos logros y tristezas, quienes palparon toda mi vida universitaria, gracias por abrirme sus puertas y apoyarme incondicionalmente.

A mi abuelita Fanny quién ha sido una persona que, con su experiencia a lo largo de la vida, me ha aconsejado y me ha guiado por buen camino, quien con su inmenso amor estuvo presente cada día junto a mi deseándome lo mejor.

A todos los demás familiares, quienes de una forma diferente han contribuido también a este logro.

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, Dorita y Mesías, quienes me brindaron su apoyo en toda mi etapa estudiantil, los cuales han estado siempre en los momentos buenos y malos a lo largo de mi vida, celebrando con gran orgullo cada logro alcanzado ya que sin ellos no tendría inspiración alguna para superarme día a día.

A toda mi familia que siempre ha estado junto a mí en todo momento.

A ti Dayana O., por inspirarme a ver la vida de una forma mucho mejor y superarme a mí mismo para descubrir nuevos retos y experiencias, gracias por hacer de mí una persona más fuerte mental y físicamente sin temor a nada.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato por abrirme sus puertas, ya que en sus aulas me pude formar académicamente en la Ingeniería Civil.

A mi tutor Ing. Fidel Castro, quien me brindó su tiempo y sobre todo su conocimiento para la realización de esta tesis.

Finalmente, a mis compañeros y futuros colegas Geovanny, Christian, Valeria, quienes han estado desde los primeros semestres de universidad siempre para todo y por la gran calidad de persona que han sido conmigo.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

<b>A.- PÁGINAS PRELIMINARES</b>	
<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>iii</b>
<b>DERECHOS DE AUTOR.....</b>	<b>iv</b>
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>vi</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xv</b>
<b>B.- CONTENIDO</b>	
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.2 Objetivos .....	3
1.2.1 Objetivo general.....	3
1.2.2 Objetivos específicos .....	3
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>4</b>
2.1 Materiales.....	4
2.2 Métodos.....	9
2.2.1 Hormigón tradicional reforzado con fibras.....	9
2.2.2 Obtención de los materiales .....	11
2.2.3 Dosificación para la elaboración de las probetas .....	18
2.2.4 Elaboración de vigas para ensayo .....	27
2.2.5 Curado.....	28
2.2.6 Módulo de rotura.....	29
2.2.7 Norma de ensayos a flexión aplicado a vigas .....	30



<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>32</b>
3.1 Análisis Método de las Densidades Óptimas .....	32
3.2 Dosificación para vigas tradicionales 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	32
3.3 Dosificación para vigas PET .....	33
3.3.1 Análisis vigas 1.5% PET.....	34
3.3.2 Análisis vigas 2.5% PET.....	34
3.3.3 Análisis vigas 5% PET.....	34
3.3.4 Análisis vigas 7.5% PET.....	34
3.4 Dosificación para vigas Bagazo de Caña .....	36
3.4.1 Análisis vigas 1.5% Bagazo de Caña .....	36
3.4.2 Análisis vigas 2.5% Bagazo de Caña .....	37
3.4.3 Análisis vigas 5% Bagazo de Caña .....	37
3.4.4 Análisis vigas 7.5% Bagazo de Caña .....	37
3.5 Resultados de Ensayos a Flexión.....	39
3.5.1 Especímenes vigas de hormigón tradicional $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	39
3.5.2 Especímenes vigas de 1.5% PET .....	40
3.5.3 Especímenes vigas 2.5% PET .....	40
3.5.4 Especímenes vigas 5% PET .....	41
3.5.5 Especímenes vigas 7.5% PET .....	41
3.5.6 Especímenes vigas 8.5% y 10% PET .....	42
3.5.7 Especímenes vigas 1.5% Fibras de bagazo de caña .....	43
3.5.8 Especímenes vigas 2.5% Fibras de bagazo de caña .....	43
3.5.9 Especímenes vigas 5% Fibras de bagazo de caña .....	44
3.5.10 Especímenes vigas 7.5% Fibras de bagazo de caña .....	44
3.6 Relación porcentaje PET vs Módulo de rotura.....	45
3.7 Relación porcentaje Fibra de bagazo de caña vs Módulo de rotura. ....	46
3.8 Relación Módulo de rotura de la Fibra de bagazo de caña VS plástico PET reciclado.....	48
3.9 Relación costo Fibra de bagazo de caña VS plástico PET reciclado. ....	49
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>53</b>
4.1 Importancia de realizar el trabajo experimental .....	53
4.2 Comportamiento mecánico y porcentajes óptimos de refuerzo PET.....	53
4.3 Comportamiento mecánico y porcentajes óptimos de refuerzo Fibras de bagazo de caña. ....	54

4.4 Protección para evitar degradación de las fibras de bagazo de caña.....	54
4.5 . Dosificación de mezclas de hormigón.....	55
4.6 Ventajas y desventajas del hormigón reforzado con Fibras de bagazo de caña .....	55
4.7 Ventajas y desventajas del hormigón reforzado con PET reciclado. ....	56
4.8 Costo de hormigón tradicional VS hormigón reforzado .....	57
4.9 Materiales utilizados .....	58
4.10 Recomendaciones Generales.....	58
<b>C.- MATERIALES DE REFERENCIA</b>	
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>63</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Composición física del bagazo de caña .....	7
<b>Tabla 4.</b> Tabla actualizada de la resistencia a la compresión del hormigón en función a la relación agua/cemento.....	24
<b>Tabla 5.</b> Cantidad de pasta en función del asentamiento requerido .....	25
<b>Tabla 6.</b> Dosificación vigas de prueba 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	32
<b>Tabla 7.</b> Dosificación Vigas PET .....	33
<b>Tabla 8.</b> Resumen de la relación agua/cemento añadido para el volumen 0.068m <sup>3</sup> PET .....	34
<b>Tabla 9.</b> Dosificación final con 5% PET para 1m <sup>3</sup> .....	35
<b>Tabla 10.</b> Dosificación vigas Bagazo de Caña.....	36
<b>Tabla 11.</b> Resumen de la relación agua/cemento añadido para el volumen 0.068m <sup>3</sup> bagazo de caña.....	37

<b>Tabla 12.</b> Dosificación final 1.5 fibras bagazo de caña para 1m3 .....	38
<b>Tabla 13.</b> Informe de resultados a flexión hormigón 210 kg/cm2 .....	39
<b>Tabla 14.</b> Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 1.5% PET .....	40
<b>Tabla 15.</b> Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 2.5% PET .....	40
<b>Tabla 16.</b> Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 5% PET .....	41
<b>Tabla 17.</b> Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 7.5% PET .....	41
<b>Tabla 18.</b> Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 8.5% y 10 %PET .....	42
<b>Tabla 19.</b> Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 1.5% Fibras de bagazo de caña .....	43
<b>Tabla 20.</b> Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 2.5% Fibras de bagazo de caña .....	43
<b>Tabla 21.</b> Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 5% Fibras de bagazo de caña .....	44
<b>Tabla 22.</b> Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 7.5% Fibras de bagazo de caña .....	44
<b>Tabla 23.</b> Relación porcentaje PET vs Resistencia a flexión.....	45
<b>Tabla 24.</b> Relación porcentaje FBC vs Resistencia a flexión .....	46
<b>Tabla 25.</b> Análisis de precio unitario para la elaboración de un metro cúbico de hormigón tradicional.....	49
<b>Tabla 26.</b> Análisis de precio unitario para la elaboración de un metro cúbico de hormigón reforzado con fibra de bagazo de caña.....	50
<b>Tabla 27.</b> Análisis de precio unitario para la elaboración de un metro cúbico de hormigón reforzado con PET reciclado.....	51
<b>Tabla 28.</b> Relación entre el hormigón tradicional y su tipo de refuerzo .....	52

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Hormigón tradicional .....	4
---	---

Ilustración 2. Plástico PET reciclado .....	6
Ilustración 3. Agua para mezcla de hormigón .....	8
Ilustración 4. Cemento SELVALEGRE .....	8
Ilustración 5. Planta de Caña de azúcar .....	11
Ilustración 6. Acopio de caña de azúcar.....	12
Ilustración 7. Molienda de caña de azúcar .....	12
Ilustración 8. Recolección del bagazo de caña de azúcar .....	13
Ilustración 9. Bagazo de caña de azúcar .....	13
Ilustración 10. Lavado del bagazo con agua corrida.....	14
Ilustración 11. Lavado de bagazo de caña .....	14
Ilustración 12. Adición del hidróxido de calcio .....	14
Ilustración 13. Constante movimiento del bagazo para un secado uniforme.....	15
Ilustración 14. Secado al sol del bagazo de caña .....	15
Ilustración 15. "Canteras Nieto" Agregado grueso.....	15
Ilustración 16. "Canteras Nieto" Agregado fino.....	16
Ilustración 17. Pesaje de Materiales plásticos provenientes de centros de reciclajes .....	17
Ilustración 18. Acopio de materiales plásticos.....	17
Ilustración 19. Trituración.....	17
Ilustración 20. Tratamiento y lavado del material plástico .....	17
Ilustración 21. Granulometría agregado fino .....	19
Ilustración 22. Vertiendo la muestra en los tamices .....	19
Ilustración 23. Granulometría agregado grueso .....	21
Ilustración 24. Vertiendo la muestra en los tamices .....	21
Ilustración 25. Densidad real del cemento .....	22
Ilustración 26. Sacando el aire del picnómetro .....	22
Ilustración 27. Pesando la muestra seca para calcular el porcentaje de humedad .....	23
Ilustración 28. Colocando los recipientes metálicos en el horno .....	23
Ilustración 29. Vigas realizadas en base a NTE INEN 1576 .....	27
Ilustración 30. Vibrado de vigas para flexión .....	27
Ilustración 31. Elaboración de vigas para flexión.....	27
Ilustración 32. Curado inicial de vigas.....	28

Ilustración 33. Vigas sumergidas en la cámara de curado hasta su ensayo .....	28
Ilustración 34. Relación porcentaje PET vs Resistencia flexión.....	45
Ilustración 35. Relación porcentaje FBC vs Resistencia a flexión .....	47

## RESUMEN

En el siguiente trabajo experimental se propone la reutilización de materiales como lo son; el plástico PET reciclado y las fibras de bagazo de caña, los cuales reemplazan un porcentaje del peso total correspondiente al agregado grueso, en la dosificación y elaboración de vigas de hormigón tradicional. Se analizó el comportamiento técnico, económico y medio ambiental de la propuesta a través de ensayos de laboratorio controlados a flexión y su comparativa de costos de estos materiales alternativos frente a los tradicionales en el mercado local.

Técnicamente se encontró que los especímenes de hormigón tradicional reforzados con 5 y 7 por ciento de plástico PET reciclado tienen propiedades mecánicas acordes a la norma NTE-INEN para elementos no estructurales. Las fibras de bagazo de caña no cumplieron con los estándares, siendo un máximo de adición del 1.5 por ciento de fibras el mejor resultado. El análisis económico dió como resultado que el hormigón con refuerzos PET es competitivo frente al hormigón tradicional.

**Palabras claves:** Plástico PET, Bagazo de caña, Agregados gruesos, Flexión, Ensayo de materiales, Hormigón tradicional, Norma NTE-INEN.

## ABSTRACT

In this experimental work the reuse of materials as they are proposed; recycled PET plastic and cane bagasse fibers, which replace a percentage of the total weight corresponding to coarse aggregate, in the dosage and elaboration of traditional concrete beams. The technical, economic and environmental behavior of the proposal was analyzed through controlled bending laboratory tests and its cost comparison of these alternative materials compared to traditional ones in the local market.

Technically, it was found that the traditional concrete specimens reinforced with 5 and 7 percent recycled PET plastic have mechanical properties according to the NTE-INEN standard for non-structural elements. The cane bagasse fibers did not meet the standards, with a maximum of 1.5 percent fiber addition being the best result. The economic analysis showed that concrete with PET reinforcements is competitive with traditional concrete.

**Keywords:** PET plastic, Cane bagasse, Coarse aggregates, Bending, Materials testing, Traditional concrete, NTE-INEN standard.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes Investigativos

En consecuencia, con el desarrollo sustentable y la posibilidad de usar materiales alternativos para la construcción, que permitan reducir la extracción y utilización de materiales tradicionales, se presenta una necesidad de continuar la investigación en el campo de materiales que no solo se limiten a reducir costos, sino que brinden una seguridad en lo que concierne a sus propiedades y necesidades de resistencia según sus usos. [1]

En general, la matriz cementante o aglutinante podrá ser de naturaleza cerámica (cementos Pórtland, yeso, cal hidratada, arcilla, azufre entre otros), polimérica (resina epóxica, acrílico, polipropileno, betún, brea o asfalto, etc), y metálica (un metal puro o una aleación) Se denomina bagazo al residuo de materia después de extraer su jugo. Una clase de bagazo es el residuo leñoso de la caña de azúcar. Cuando están frescos estos bagazos contienen un 40% de agua. A menudo se utilizan como combustible para el propio ingenio azucarero. [1]

La fibra de caña de azúcar es especialmente importante porque es un material inflamable para la industria azucarera y otras industrias, y una materia prima valiosa para otras industrias como la del papel y la madera artificial. Otra alternativa al uso de este material es utilizar fibra de bagazo como material de fabricación. Comparando el uso de fibras naturales con materiales sintéticos, existen dos ventajas principales: baja densidad y reutilización. Las propiedades morfológicas y físicas y mecánicas del bagazo. Está clasificado como material apto para refuerzo. [1]

La producción de caña de azúcar para el año 2016 llegó a 8.661.609 toneladas métricas Su cosecha está principalmente localizada en la región costa del país. Sin embargo, en



algunas provincias de la región sierra también se cultiva. Las provincias que se destacan en la producción de caña de azúcar son Guayas en la región costa y Loja, Cañar e Imbabura en la región sierra. Adicionalmente en Ecuador, estudios realizados en el año 2014 por el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS) indicaron que de 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADs), 160 disponen sus desechos en botaderos a cielo abierto y los 61 GADs restantes disponen sus residuos en rellenos sanitarios. En el 2013 la generación de residuos sólidos en el país fue aproximadamente de 4.139.512 Tm/año, de los cuales 61,4% fueron desechos orgánicos. En 2017 Ecuador generó 5.546.921 Tm/año. [2]

Los materiales plásticos corresponden a un gran número de productos muy diferentes, tanto por su materia prima como por sus procesos de fabricación y usos. Para facilitar la identificación de cada polímero, y ayudar a su clasificación para poder implementar sistemas de reciclado, se ha instituido en Código Internacional SPI, que permite identificar de que material específicamente esta hecho un objeto de plástico. El proceso de reciclado y el producto que se obtenga dependerá del tipo de plástico que se recicle. PET (Tereftalato de polietileno) se obtiene de, envases de gaseosas, jugos, jarabes, aceites comestibles, bandejas, artículos de farmacia. [3]

Según los últimos datos del INEC, en el 2018 los ecuatorianos arrojaron 12.739,01 toneladas de basura diarias. De ellas, el 11,43% era plástico. Eso representa la cifra colosal de 531.461 toneladas anuales de ese material, lo que equivale al peso de más de 350.000 vehículos medianos. Las cifras del INEC también dan pistas de las regiones y provincias que más los consumen. Por ejemplo, la Sierra es la región que más plástico bota; mientras que la menor es la Costa. A nivel de las cinco ciudades principales (Guayaquil, Quito, Machala, Ambato y Cuenca), se puede observar que la ciudad de Ambato es la ciudad con el mayor porcentaje de hogares que no clasifican (68,13 %) y Cuenca la ciudad donde más se clasifica residuos (53,37 %). [4].

Solo en PET, el país importó 47.000 toneladas en 2010. De esas, el 70% se utilizó para la elaboración de botellas para el consumo de agua y bebidas no alcohólicas. Sin embargo, se reciclaron apenas 22.000 toneladas, aunque no fueron consumidas por la industria. [5]

La cultura local no tiene conocimientos arraigados sobre el reciclaje de tales residuos; en la actualidad es posible su reutilización en nuevos procesos para la elaboración de productos con características similares y con las mismas funciones que tienen el hormigón utilizado en la construcción con desechos como el PET y bagazo de caña de azúcar, que debido a la alta producción de los alimentos y plásticos de único uso derivados de estas industrias, son desechos que se encuentran en grandes cantidades y localizados en diferentes zonas dentro del país. [6]

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

- Evaluar la resistencia a flexión del Hormigón Tradicional frente al hormigón fabricado con materiales reciclados PET y fibras de Bagazo de caña.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Determinar el porcentaje óptimo de fibras de bagazo de caña y agregado PET para la elaboración de un hormigón con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>.
- Realizar una comparación de resistencia a flexión del hormigón endurecido con presencia de Plásticos PET y fibras de bagazo de caña, frente al hormigón tradicional.
- Determinar ventajas y desventajas del hormigón reforzado con PET y fibras de bagazo de caña en la resistencia a flexión.
- Comparar costos entre un hormigón reforzado con PET y fibras de bagazo de caña frente al hormigón tradicional

## CAPÍTULO II METODOLOGÍA

### 2.1 Materiales

#### Hormigón tradicional

El hormigón es un material pétreo artificial, no homogéneo, constituido por la mezcla de forma apropiada de cemento, áridos finos (arena), áridos gruesos (ripio) y agua, con la eventual incorporación de aditivos.

El hormigón tradicional debe cumplir con los requisitos de trabajabilidad, consistencia, resistencia, durabilidad y economía. Estas características no son independientes entre sí, están estrecha y mutuamente ligadas, dependiendo fundamentalmente de la relación agua-cemento, de la calidad de los agregados, de sus proporciones y de la forma como se efectúa su preparación, colocación y curado.

Para el presente estudio se considera que el hormigón tradicional será utilizado en obras civiles menores, tales como bordillos, aceras, replantillos, muebles fijos de cocina, aceras, tapas, etc.; es decir en elementos que no requieran esfuerzos de compresión mayores a  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , ni tienen responsabilidad estructural que afecte. Así como también dar un precedente a la utilización en elementos que tenga una carga estructural. [7]

*Ilustración 1. Hormigón tradicional*



*Fuente: <https://biblus.accasoftware.com/>*

## **Plásticos PET**

El tereftalato de polietileno (más conocido por sus siglas en inglés PET, polyethylene terephthalate) es un tipo de plástico usado en envases de bebidas y textiles. [8]

Según su composición son materiales de origen orgánico, constituidos por polímeros que tienen largas cadenas de átomos que elementalmente contiene carbono. Otros elementos que comprenden los plásticos pueden ser nitrógeno, oxígeno, azufre e hidrógeno, además los plásticos que son comercializados tienen su procedencia en la destilación del oro negro, que es el petróleo, utilizando un porcentaje cercano al 6% que pasa por las refinerías para eventualmente convertirlo en plástico. [9]

Los envases hechos con tereftalato de polietileno (PET) constituyen uno de los elementos reciclables más usados en todo el mundo, cada vez son más los productos envasados en este material gracias a sus cualidades: irrompible, económico, liviano, impermeable y reciclable; además, desde el punto de vista ambiental, el PET es la resina con mejores características para el reciclado, según Greenpeace. [10]

El PET presenta las siguientes propiedades:

- Procesable por soplado, inyección y extrusión.
- Compatibilidad con diferentes materiales que mejoran en grupo su calidad
- Protección de los envases y con esto permiten su uso en mercados internacionales
- Tiene una factibilidad para producir películas, botellas, láminas, planchas y muchas más piezas.
- Transparencia, aunque admite colorantes en su composición y brillo con efecto de lupa.
- Tiene una muy buena resistencia a desgastarse.
- Un excelente coeficiente al deslizamiento.
- Moderada resistencia térmica y química.
- Una buena protección a CO<sub>2</sub>, moderada barrera a O<sub>2</sub> y humedad.
- Reciclable.

- Sin ninguna reacción a productos que deban estar en contacto con alimentos.
- Buenas propiedades mecánicas.
- Bio rentable
- Cristalizable. [9]

*Ilustración 2. Plástico PET reciclado*



*Fuente: <https://www.lidem.com/>*

### **Bagazo de caña de azúcar**

La caña de azúcar comúnmente crece en climas subtropicales y tropicales. El bagazo es el residuo fibroso que queda de la caña después de ser prensada y sometido al proceso de extracción. El bagazo se utiliza comúnmente como combustible en los ingenios azucareros y es una de las materias primas más importantes de la industria del papel. Su ventaja significativa sobre otras fibras vegetales no leñosas es que el costo de la cosecha, el jugo y la limpieza serán los responsables del ingenio azucarero. [11]

Las fibras vegetales están formadas por ligamentos fibrosos, compuestos por filamentos ricos en celulosa dispuestos en capas de diferentes espesores y ángulos de orientación. [12]

El bagazo tiene una gran variedad de propiedades, las cuales están determinadas por factores como los detalles de la caña de azúcar, el tipo de suelo, los factores climáticos, el clima, el tipo de cosecha y sobre todo el método de extracción utilizado. [12]

Las diferentes características morfológicas y sus propiedades físico-mecánicas del bagazo de caña de azúcar, lo posicionan como un material adecuado para ser usado como Fibra de refuerzo [12]

*Tabla 1. Composición física del bagazo de caña*

COMPONENTE	PORCENTAJE
Fibra de bagazo	45%
Solidos insolubles	2-3%
Solidos solubles	2-3%
Agua	50%

*Fuente: <http://dspace.ucuenca.edu.ec>*

## **Agua**

El agua es el componente del concreto que entra en contacto con el cemento generando el proceso de hidratación, que desencadena una serie de reacciones que terminan entregando al material sus propiedades físicas y mecánicas, su buen uso se convierte en el parámetro principal de evaluación para establecer el eficiente desempeño del concreto en la aplicación. [13]

El agua debe ser clara y de apariencia limpia, libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto o el refuerzo.

Si contiene sustancias que le produzcan color, olor o sabor inusuales, objetables o que causen sospecha, el agua no se debe usar a menos que existan registros de concretos elaborados con ésta, o información que indique que no perjudica la calidad del concreto. El agua puede tener muy pocas cantidades de cloruros, sulfatos, álcalis y material sólido. [14]

*Ilustración 3. Agua para mezcla de hormigón*



*Fuente: <https://www.construyebien.com/>*

## **Cemento**

Aquellos cementos portland se los tiende a definir como un cemento de tipo hidráulico elaborado por la pulverización del Clinker, que se constituye principalmente de silicatos cálcicos hidráulicos y que la mayoría del tiempo contiene uno o más de los siguientes elementos: sulfato de calcio, hasta 5% de piedra caliza y adiciones de proceso (NTE INEN 151). Las propiedades y requisitos que debe cumplir el cemento Portland se establecen en la norma NTE INEN 152. SELVALEGRE es un cemento puzolánico Portland de Tipo IP diseñado para trabajos generales de hormigón. Cumple con los requisitos de NTE INEN 90 (normas técnicas ecuatorianas) y ASTM C 595. Tiene una licencia ambiental. La resistencia aumenta gradualmente incluso después de los 28 días de edad y puede aumentar hasta en un 20% después de 90 días. [15]

*Ilustración 4. Cemento SELVALEGRE*



*Fuente: <https://ferrigonz.com.ec/>*

## **2.2 Métodos**

Revisión y Análisis de las diferentes aplicaciones en el uso de materiales reciclados para refuerzo y mejoramiento en la calidad del Hormigón en sus diferentes proporciones y formas de emplearlos en el mismo. Además de los diferentes ensayos de laboratorio que determinan las propiedades de los materiales que componen cada una de las muestras a ser analizadas.

### **2.2.1 Hormigón tradicional reforzado con fibras**

Agua, cemento hidráulico, áridos, aditivos y fibras de refuerzo son algunos de los principales materiales utilizados para la producción de hormigón reforzado con fibras. Actualmente, algunas investigaciones se centran en el desarrollo de compuestos fibrosos, que son nuevos materiales de origen natural.

Los compuestos fibrosos todavía están en desarrollo para mejorar las propiedades mecánicas de materiales frágiles como las matrices cohesivas porque no son dúctiles después del agrietamiento.

Hay muchos tipos de fibras. Las más adecuadas para su uso como refuerzos de cemento son el acero, el vidrio, las fibras sintéticas y naturales.

El hormigón armado con diferentes fibras presenta fisuras en la matriz del cemento debido a la ausencia o mínima contracción plástica por calentamiento interno de las fibras. Además, evita que se produzcan depósitos en hormigón fresco y evita cambios en el volumen de la superficie.[16]



### **2.2.1.1 Hormigón reforzado con fibra sintética**

Las fibras sintéticas son la conquista y el desarrollo de la industria petroquímica y textil. El hormigón tradicional reforzado con fibra sintética utiliza fibras hechas de polímeros de procedencia orgánica, disponibles en una extensa variedad de formulaciones. Las fibras utilizadas para reforzar la base de cemento son acrílicas, polietileno, aramida, carbono, nylon, poliéster y polipropileno.

Muchos de estas fibras tienen poca investigación o experiencia en esta área, pero otras fibras se utilizan comercialmente y deben informarse en detalle.

El uso de fibras sintéticas en forma de red de capas es similar, en concepto, al sistema que se conoce como ferro cemento que ha desarrollado la ACI comisión 549. [16]

### **2.2.1.2 Hormigón reforzado con fibra natural.**

Las fibras naturales se encuentran disponibles suficientemente en grandes cantidades en diferentes países y son un recurso renovable. Las fibras naturales en bruto requieren relativamente menos energía y conocimientos técnicos para fabricar que otras fibras. En el contexto histórico, la utilización de fibras naturales como materia prima en el área de la construcción se ha aplicado mucho antes de la llegada del hormigón tradicional.

Históricamente, se han utilizado muchas fibras para reforzar una variedad de materiales de construcción, pero recientemente un pequeño grupo científico ha optado por utilizar fibras naturales como refuerzos. El uso de algunas fibras naturales como el sisal, el coco, el bagazo, el plátano y la palma, etc. se restringe principalmente a la producción de tejidos, cuerdas y esteras. [16]

## 2.2.2 Obtención de los materiales

### Obtención del bagazo de caña

Se denomina bagazo al residuo de materia después de extraído su jugo. Una clase de bagazo es el residuo leñoso de la caña de azúcar. En estado fresco estos bagazos contienen un 40% de agua.

El material para este proyecto fue extraído de una fábrica de licor artesanal ubicada en el Km 37 parroquia Mariscal, cantón Santa Clara, Provincia de Pastaza. El bagazo de caña no tiene ningún costo ya que lo consideran como residuos no aprovechables por lo tanto lo riegan como abono o lo queman en sus propios hornos como combustible para fabricar el licor artesanal.

Cultivo: El cultivo se lo realiza en el área misma de la fábrica de licor el cual tiene una duración para la cosecha a partir de los 9 meses.

*Ilustración 5. Planta de Caña de azúcar*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

*Acopio:* Después de la cosecha se traslada a la fábrica donde se almacena la caña bajo techo o sino transcurre mucho tiempo para su molienda se lo deja a la intemperie.

*Ilustración 6. Acopio de caña de azúcar*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

*Molienda:* Se procede a moler la caña por unos rodillos de metal los cuales sacan el jugo de la caña para procesarlo.

*Ilustración 7. Molienda de caña de azúcar*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

Residuos: El bagazo de la caña finalmente es desechado y ubicado en diferentes zonas donde es aprovechado de las formas antes mencionadas o como residuos orgánicos.

*Ilustración 8. Bagazo de caña de azúcar*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

*Ilustración 9. Recolección del bagazo de caña de azúcar*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

Lavado: El bagazo seleccionado presentó un porcentaje de humedad promedio del 35% en base seca. Se realizó un lavado mediante agua corrida previo de las fibras a utilizar como fibrorefuerzo para eliminar la presencia de carbohidratos libres. [1]

*Ilustración 11. Lavado de bagazo de caña*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

*Ilustración 10. Lavado del bagazo con agua corrida*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

Tratamiento aplicado a las partículas. Las partículas o fibras de bagazo fueron sumergidas en una mezcla de Hidróxido de calcio al 5,0 % y agua durante 24 horas a una temperatura de 24°C, para darle una protección del medio alcalino de la pasta de cemento. [1]

*Ilustración 12. Adición del hidróxido de calcio*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

Secado: Luego se efectuó el secado del bagazo para evitar problemas de ataque de hongos y plagas. [1]

*Ilustración 14. Secado al sol del bagazo de caña*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

*Ilustración 13. Constante movimiento del bagazo para un secado uniforme*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

### **Obtención del agregado grueso**

El agregado grueso utilizado en la elaboración de este proyecto fue extraído del Área minera "CANTERAS NIETO" Cod. 200982

*Ilustración 15. "Canteras Nieto"  
Agregado grueso*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

### **Obtención del agregado fino**

El agregado fino utilizado en la elaboración de este proyecto es arena lavada la cual fue extraída del Área minera "CANTERAS NIETO" Cod. 200982

*Ilustración 16. "Canteras Nieto" Agregado fino*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

### **Obtención del plástico triturado PET**

Si reciclamos el plástico estamos contribuyendo con el medio ambiente, haremos que las industrias no tengan que producir más químicos que contaminan el aire y destruyan, poco a poco, la capa de ozono. El plástico es un material que tarda muchos años en desintegrarse y perjudica mucho la atmosfera del planeta. El plástico está hecho de petróleo y de carbón que no se disuelven. [17]

Si reciclamos el vidrio, el papel o el plástico ya no hay necesidad de hacer uso de tantas nuevas materias primas para fabricar productos. De este modo ahorraremos una cantidad importante de recursos naturales y conservaremos, entre otras cosas, nuestros bosques, los llamados pulmones del planeta, cuyo trabajo es fundamental para descontaminar el ambiente [18]



La obtención del material PET, su acopio, lavado, triturado y terminado para este proyecto fue a cargo de la empresa "ENKADOR" la cual se encarga de dar el tratamiento al plástico.

### ***Proceso de Acopio***

*Ilustración 17. Pesaje de Materiales plásticos provenientes de centros de reciclajes*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

*Ilustración 18. Acopio de materiales plásticos*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

### ***Proceso de tratamiento y trituración***

*Ilustración 20. Tratamiento y lavado del material plástico*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

*Ilustración 19. Trituración*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*



### 2.2.3 Dosificación para la elaboración de las probetas

Para dosificar el hormigón se utilizará el Método de la Densidad Óptima. Con la ayuda de este método se puede determinar las cantidades necesarias de agua, cemento y agregados que deben emplearse para elaborar el hormigón para 210 kg/cm<sup>2</sup> deseado. Además, se realizará los ensayos de los agregados para identificar las propiedades físicas siguiendo las normas INEN y ASTM vigentes.

#### 2.2.3.1 Granulometría del agregado Fino

Este método se utiliza principalmente para determinar la calidad del material para ser utilizado como agregado para hormigón mediante el tamizado de la muestra en una serie de tamices denominada de Serie de Tyler. [19]

El agregado fino considerado el cual cuyas partículas pasan por el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y es retenida de manera predominante por tamiz de 75  $\mu$ m (No. 200).

*Tabla 2. Límites para agregado fino*

Tamiz ASTM	Tamiz INEN	Porcentaje que pasa
3/8"	9.5 mm	100
#4	4.75 mm	95 - 100
#8	2.36 mm	80 - 100
#16	1.18 mm	50 - 85
#30	0.60 mm	25 - 60
#50	0.30 mm	10 - 30
#100	0.15 mm	2 - 10
#200	0.074 mm	-

*Fuente: NTE INEN 872*

### *Metodología para el agregado fino*

- Poner a secar una muestra al horno por 24h previas al ensayo.
- Tomar una muestra representativa no menor a 300 gr, en este caso 1000 gr.
- Ubicar de forma ordenada los tamices según la Tabla 2.
- Vaciar la muestra sobre los tamices
- El tiempo de tamizado debe ser el necesario para que no más del 1% en masa del material retenido pase el tamiz durante 1 minuto de tamizado manual continuo.
- Pesar el contenido retenido en cada uno de los tamices.
- Calcular el módulo de finura como la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices #100, #50, #30, #16, #8, #4, 3/8" y 3/4" o según lo que especifique la norma ASTM C125 . [19]

*Ilustración 22. Vertiendo la muestra en los tamices*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

*Ilustración 21. Granulometría agregado fino*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

### 2.2.3.2 Granulometría Agregado Grueso

En suelos gruesos, la granulometría se puede determinar por mallas y la distribución de tamaños puede revelar propiedades físicas del material; es decir, un suelo grueso bien graduado con amplia gama de tamaños, presenta un comportamiento ingenieril más favorable que los suelos con granulometría uniforme. [19]

Son aquellas partículas retenidas de manera predominante por el tamiz de 4.75 mm

(No. 4).

*Tabla 3. Límites para agregado grueso*

Tamiz ASTM	Tamiz INEN	Porcentaje que pasa
2"	50.80 mm	100
1 1/2 "	38.10 mm	95 - 100
1"	26.67 mm	-
3/4"	18.85 mm	35 - 70
1/2"	13.32 mm	-
3/8"	9.5 mm	10 - 30
#4	0.15 mm	0 - 5

*Fuente: NTE INEN 872*

#### ***Metodología para el agregado fino***

- Poner a secar una muestra al horno por 24h previas al ensayo.
- Tomar una muestra representativa no menor a 1000 gr en este caso 10 000 gr
- Ubicar de forma ordenada los tamices según la Tabla 3.
- Verter la muestra sobre los tamices y agitar manualmente.
- El tiempo de tamizado debe ser el necesario para que no más del 1% en masa del material retenido pase el tamiz durante 1 minuto de tamizado manual continuo.
- Pesar el contenido de cada tamiz.

- Calcular el tamaño nominal máximo del agregado, analizando el primer tamiz anterior en el que exista el 15% o más de material retenido acumulado [19]

*Ilustración 24. Vertiendo la muestra en los tamices*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

*Ilustración 23. Granulometría agregado grueso*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

### **2.2.3.3 Densidad real del cemento**

La determinación de la densidad real del cemento consiste en establecer la razón entre la masa del cemento y el volumen de un líquido no reactivo de la masa que se desplaza en un frasco de Le Chatelier o de un picnómetro. Para determinar la densidad se debe usar querosén libre de agua o nafta y que posea una densidad mayor a 0.73 g/cm<sup>3</sup> en una temperatura de 23°C ± 2°C. Los valores de densidad real varía muy poco de un cemento a otro y estos valores oscilan entre 2.9 gr/cm<sup>3</sup> a 3.15 gr/cm<sup>3</sup>. [20]

### ***Metodología para la densidad real del cemento***

- Pesar el picnómetro a usar.
- Verter una cantidad considerable en el picnómetro, cuidando de que no queden partículas en las paredes del mismo.
- Verter gasolina a 2/3 del picnómetro.
- Sacar el aire del picnómetro girando circularmente y en posición inclinada por 2 min.
- Aplicar el método volumétrico de desplazamiento para determinar densidad del cemento, masa y volumen. [20]

*Ilustración 26. Sacando el aire del picnómetro*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

*Ilustración 25. Densidad real del cemento*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

#### **2.2.3.4 Contenido de humedad del agregado grueso y fino**

Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a  $110 \pm 5$  °C\*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua. [21]

### ***Metodología para el contenido de humedad***

- Pesar cada uno de los recipientes metálicos a utilizar
- Colocar una muestra representativa de material fino y grueso en cada recipiente
- Pesar la muestra antes de ubicarla en el horno por un período de 24h
- Pesar la muestra seca
- Calcular el porcentaje de agua que ha sido evaporada respecto a la masa anteriormente pesada

*Ilustración 27. Pesando la muestra seca para calcular el porcentaje de humedad*



***Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.***

*Ilustración 28. Colocando los recipientes metálicos en el horno*



***Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.***

### 2.2.3.5 Método de las Densidades Óptimas

La base de este enfoque de mezcla de diseño es utilizar la cantidad mínima de pasta necesaria para obtener hormigón de buena calidad, para el cual debemos obtener una combinación de granulados que deje el menor porcentaje de vacíos. [22]

*Tabla 2. Tabla actualizada de la resistencia a la compresión del hormigón en función a la relación agua/cemento.*

<b>f<sub>c</sub></b> <b>MPa</b>	<b>RELACIÓN</b> <b>AGUA/CEMENTO</b>
45	0.37
42	0.40
40	0.42
35	0.46
32	0.50
30	0.51
28	0.52
25	0.55
24	0.56
21	0.58
18	0.60

*Fuente: Laboratorio de Ensayo de Materiales. UCE. Quito- Ecuador*

El procedimiento que se sigue para dosificar las cantidades de hormigón por el Método de la Densidad Óptima se muestra a continuación:

- Determinación de la relación agua/cemento en concordancia a la resistencia a la compresión que el hormigón tiene a los 28 días, utilizando la Tabla N°4.
- Se calcula la densidad real de la mezcla de los agregados (DRM)

$$DRM = \frac{DRA \times POA + DRR \times POR}{100}$$

*Ecuación 1. Densidad Real de la Mezcla.*

c) Calcular el Porcentaje Óptimo de Vacíos (POV)

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} \times 100$$

*Ecuación 2. Porcentaje Óptimo de Vacíos*

d) Calcular la cantidad de pasta (CP)

La ecuación se escogerá según el grado de trabajabilidad y plasticidad adecuados en base a su asentamiento requerido.

*Tabla 3. Cantidad de pasta en función del asentamiento requerido*

<b>Asentamiento en cm</b>	<b>Cantidad de pasta en %</b>
0 - 3	POV +2% +3% (POV)
3 - 6	POV +2% +6% (POV)
6 - 9	POV +2% +8% (POV)
9 - 12	POV +2% +11% (POV)
12 - 15	POV +2% +13% (POV)

*Fuente: Seminario de investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón.*

a) Calcular la cantidad de cemento (C)

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

*Ecuación 3. Cantidad de Cemento*



b) Calcular la cantidad de Agua (W)

$$W = \frac{W}{C} \times C$$

*Ecuación 4. Cantidad de agua*

c) Calcular la cantidad de Agregado fino (A)

$$A = (1000 - CP) \times \frac{DRA \times POA}{100}$$

*Ecuación 5. Cantidad de agregado fino*

d) Calcular la cantidad de Agregado Grueso (R)

$$R = (1000 - CP) \times \frac{DRR \times POR}{100}$$

*Ecuación 6. Cantidad de agregado grueso*

e) Calcular la dosificación al peso

$$DOSIFICACIÓN (W, C, A, R) = \frac{\text{Cantidad de material (W, C, A, R) por m}^3}{\text{Cantidad de cemento (C)}}$$

*Ecuación 7. Dosificación de material al peso*

Los valores que se calculan en la dosificación están bajo la hipótesis de que los materiales empleados están en condición SSS, lo cual es muy poco probable que se cumpla en obra por lo que es necesario realizar una corrección por humedad a los agregados. Se recomienda también, tener un control minucioso de la cantidad de agua usada analizando su asentamiento de diseño. [23]

#### 2.2.4 Elaboración de vigas para ensayo

Se realizará dos tipos de vigas; Un tipo de viga solamente adicionando el plástico PET reciclado y otro tipo de viga con adición de las fibras del bagazo de caña, con la finalidad de realizar una comparativa de estos dos tipos de hormigón reforzado con fibras sintéticas frente a las fibras naturales.

Las vigas estarán basadas en la norma NTE INEN 1576, donde nos da directrices específicas en cuanto a los moldes a utilizar, para los especímenes a flexión en este caso, 750mm x150mm x 150mm fueron las medidas aplicadas para su elaboración tomando en cuenta las recomendaciones de vibración, longitud, superficies lisas y perpendiculares entre sí. [24]

*Ilustración 29. Elaboración de vigas para flexión*



*Ilustración 30. Vibrado de vigas para flexión*



*Ilustración 31. Vigas realizadas en base a NTE INEN 1576*



**Fuente:** Jhojaan A. Villacrés Y.

## 2.2.5 Curado

### 2.2.5.1 Curado inicial

Una vez desencofradas las vigas para evitar la evaporación de agua en el hormigón no endurecido, estos se deben almacenar por 24 horas  $\pm$  8 horas sin exposición a sol, viento, humedad y vibraciones a una temperatura entre 16 °C y 27 °C [19]

*Ilustración 32. Curado inicial de vigas*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

### 2.2.5.2 Curado Final

Finalizado el proceso del curado inicial, se debe curar las vigas a una temperatura de 23 °C  $\pm$  2 °C y una humedad relativa no menor al 95%, garantizando que todo el tiempo la superficie este en contacto con agua usando tanques de almacenamiento o cámaras de curado que cumplan con los requerimientos que se estipula en la norma (NTE INEN 2528), hasta el día de su ensayo a flexión. [24]

*Ilustración 33. Vigas sumergidas en la cámara de curado hasta su ensayo*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

### **2.2.6 Módulo de rotura**

El módulo de Rotura tiene gran importancia para los ensayos de resistencia a la flexión, ya que permite determinar la mayor resistencia del concreto hacia la flexión inducida por el ensayo, donde es necesario determinar las características del mismo, así como los factores para su respectiva determinación.

La resistencia a la flexión del hormigón es una medida de la resistencia a la tracción del mismo. Ésta es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide aplicando una carga a vigas de hormigón de 6 x 6 pulgadas con una sección transversal de (150 x 150 mm) y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en Newton por milímetro cuadrado (MPa) y se determina mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293(cargada en el punto medio).

El Módulo de Rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, pero, la mejor correlación para los materiales específicos es obtenida mediante ensayos de laboratorio para los materiales dados y el diseño de la mezcla. El Módulo de Rotura determinado por la viga cargada en los puntos tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, hasta en un 15% en algunos casos.

Considerando lo antes mencionado, se puede tener una idea de la relación existente entre la compresión y flexión del concreto, además de que el módulo de rotura es de gran importancia en elementos estructurales que trabajan a flexión pura como es el caso de las vigas de concreto armado. [25]

## 2.2.7 Norma de ensayos a flexión aplicado a vigas

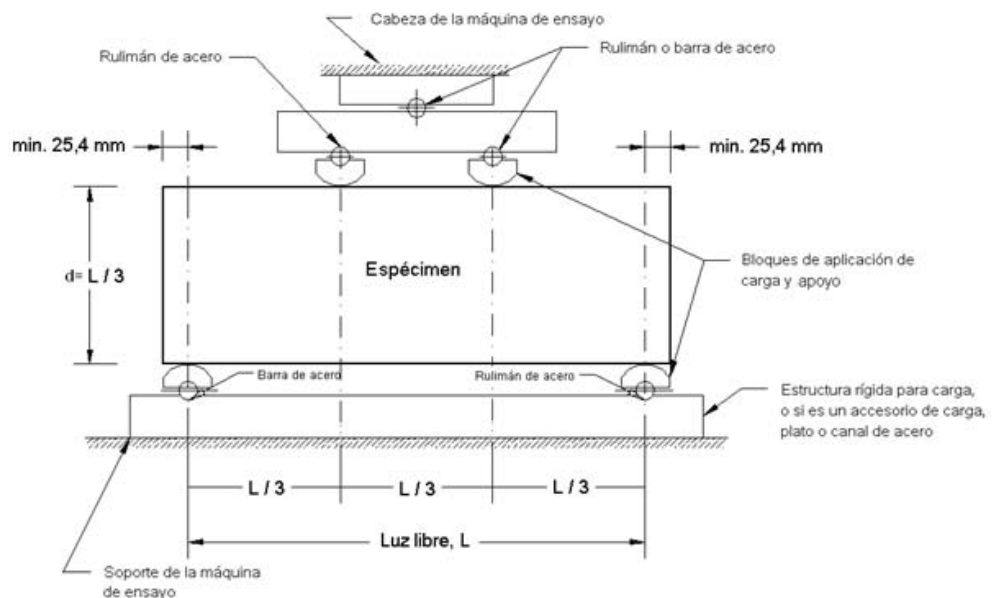
### 2.2.7.1 NTE INEN 2554: Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón. (Utilizando una viga simple con carga en los tercios).

Una viga de hormigón simple apoyada libremente en los extremos es cargada en los tercios de la luz libre hasta que ocurra la rotura del espécimen. La carga aplicada es continua, sin impacto a una velocidad constante. La resistencia a la flexión se determina por medio del módulo de rotura según las expresiones que se indican en esta norma. [20]

#### 2.2.7.1.1 Equipos

La máquina de ensayo debe cumplir con los requisitos de las secciones referidas a la verificación, correcciones y lapso entre verificaciones de la norma NTE INEN 2554. No se permiten las máquinas de ensayo operadas manualmente que tienen bombas que no proporcionan una carga continua de un solo movimiento. [20]

*FIGURA 1. Esquema de un aparato apropiado para ensayos de flexión en el hormigón, por el método de la carga en los tercios de la luz libre .*



*Fuente: NTE INEN 2554*

### 2.2.7.1.2 Medición del espécimen luego del ensayo

Para la determinación de las dimensiones de la sección transversal del espécimen, para el cálculo de módulo de rotura, realice la medición a través de una de las superficies de falla luego del ensayo. El ancho y la altura se miden en función de la orientación del espécimen en el ensayo. Para cada dimensión, tomar una medida en cada borde y una en el centro de la sección transversal. Use tres medidas en cada dirección para determinar los valores promedio de ancho y alto. Precisión de todas las medidas hasta 1 mm. [20]

### 2.2.7.1.3 Cálculos

Si ocurre una falla en la superficie de tracción dentro del tercio medio del tramo libre, calcule el módulo de rotura de la siguiente manera:

$$R = PL/bd^2$$

*Ecuación 8. Módulo de rotura, en MPa.*

Donde:

R= módulo de rotura, en MPa

P= carga máxima aplicada, indicada por la máquina de ensayo, en N,

L= Luz libre, en mm

B= promedio del ancho de la viga, en la fractura, en mm|

d= promedio de la altura de la viga, en la fractura, en mm.

Si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, pero no más allá del 5% de la luz libre, calcular el módulo de rotura de la siguiente manera:

$$R = 3Pa/bd^2$$

*Ecuación 9. Módulo de rotura, en MPa (fuera del tercio medio)*

Donde:

a= medida de la distancia entre la línea donde se produce la fractura y el apoyo que se encuentre más cercano donde se mide en la superficie de la tracción de la viga, esto se mide en mm.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN



#### 3.1 Análisis Método de las Densidades Óptimas

En la dosificación realizada por este método para las vigas sometidas a flexión se utilizaron materiales provenientes principalmente de la "CANTERA NIETO" Cod. 200982, ubicada en el paso lateral de Ambato sector minero las Viñas; fueron agregado fino (arena lavada) y agregado grueso (triturado  $\frac{3}{4}$ ). En el laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, donde se realizaron los ensayos en base a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN se obtuvieron los siguientes resultados (VER ANEXO 6).

#### 3.2 Dosificación para vigas tradicionales 210 kg/cm<sup>2</sup>

Se elaboró la dosificación en base a los resultados obtenidos en laboratorio, para comprobar la resistencia o correcciones que se debieran hacer al hormigón, realizándose así especímenes de prueba.

*Tabla 4. Dosificación vigas de prueba 210 kg/cm<sup>2</sup>*

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
		
<b>DOSIFICACIÓN</b>	VIGAS (750 mm x 150 mm x 150 mm) F'c = 210 Kg/cm <sup>2</sup>	
<b>REALIZADO POR</b>	Jhojaan Alexander Villacrés Yépez	
<b>DOSIFICACIÓN AL PESO PROBETAS</b>		
<b>Material</b>		<b>Cantidad (kg)</b>
AGUA	W (lt)	17
CEMENTO	C	29
ARENA	A	75
RIPIO	R	90



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

Donde luego de ensayarse a los 14 y 28 días respectivamente, se alcanzó la resistencia deseada de los 210 kg/cm<sup>2</sup>, procediendo así con el PET y bagazo de caña.

### 3.3 Dosificación para vigas PET

Se elaboró la dosificación en base a los resultados obtenidos, para una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> como objetivo principal, donde, la cantidad de especímenes por cada porcentaje fueron 4 vigas, dando un total de 16 vigas ensayadas.

*Tabla 5. Dosificación Vigas PET*

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>DOSIFICACIÓN</b>	VIGAS (750 mm x 150 mm x 150 mm) PET		
<b>REALIZADO POR</b>	Jhojaan Alexander Villacrés Yépez		
<b>CANTIDAD</b>	4		
DOSIFICACIÓN AL PESO			
Material		Cantidad (kg) para 1m <sup>3</sup>	
<b>AGUA</b>	W ( lt )	13	
<b>CEMENTO</b>	C	22	
<b>ARENA</b>	A	56	
		67	
<b>RIPIO</b>	R	<b>% PET</b>	<b>R. Final (Kg)</b>
		1.50%	65.99
		2.50%	65.32
		5.00%	63.65
		7.50%	61.97

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

La corrección por humedad y homogeneidad de la mezcla en cada porcentaje es para el volumen de 0.068 m<sup>3</sup> de hormigón, en el cual se adiciona en base a la relación agua/cemento.



### 3.3.1 Análisis vigas 1.5% PET

Para la elaboración de las vigas con el porcentaje de 1.5% PET se incrementó en base a la relación agua/cemento un porcentaje de agua equivalente al 4% es decir 0.5 lt y la cantidad de cemento correspondiente 1.1 kg.

### 3.3.2 Análisis vigas 2.5% PET

Para la elaboración de las vigas con el porcentaje de 2.5% PET se incrementó en base a la relación agua/cemento un porcentaje de agua equivalente al 6% es decir 0.8 lt y la cantidad de cemento correspondiente 1.32 kg.

### 3.3.3 Análisis vigas 5% PET

Para la elaboración de las vigas con el porcentaje de 5% PET se incrementó en base a la relación agua/cemento un porcentaje de agua equivalente al 8% es decir 1.05 lt y la cantidad de cemento correspondiente 1.8 kg.

### 3.3.4 Análisis vigas 7.5% PET

Para la elaboración de las vigas con el porcentaje de 7.5% PET se incrementó en base a la relación agua/cemento un porcentaje de agua equivalente al 10% es decir 1.3 lt y la cantidad de cemento correspondiente 2.2 kg.



*Tabla 6. Resumen de la relación agua/cemento añadido para el volumen 0.068m<sup>3</sup> PET*

PET			
MATERIAL	PORCENTAJE INCREMENTADO	CANTIDAD DE AGUA	CANTIDAD DE CEMENTO
	%	LITROS	Kg
PET 1.5%	4	0.5	1.1
PET 2.5%	6	0.8	1.32
PET 5%	8	1.05	1.8
PET 7.5%	10	1.3	2.2

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

Se realiza el cálculo correspondiente para 1 m<sup>3</sup> de hormigón con el 5% de PET, tomando en cuenta el porcentaje de agua/cemento del 8% que se incrementa, dando una dosificación final como se establece en la TABLA 9

*Tabla 7. Dosificación final con 5% PET para 1m<sup>3</sup>*



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 		
<b>DOSIFICACIÓN</b>	VIGAS (750 mm x 150 mm x 150 mm) F'c = 210 Kg/cm <sup>2</sup>	
<b>REALIZADO POR</b>	Jhojaan Alexander Villacrés Yépez	
<b>CANTIDAD</b>	1 m <sup>3</sup>	
<b>DOSIFICACIÓN AL PESO 5% PET</b>		
<b>Material</b>		<b>Cantidad (kg) para 1m<sup>3</sup></b>
<b>AGUA</b>	W (lt)	198.83
<b>CEMENTO</b>	C	342.8
<b>ARENA</b>	A	824.6
<b>RIPIO</b>	R	935.46
<b>PET</b>	PET	49.24

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

### 3.4 Dosificación para vigas Bagazo de Caña

Se elaboró la dosificación en base a los resultados obtenidos, para una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> como objetivo principal, donde, la cantidad de especímenes por cada porcentaje fueron 4 vigas, dando un total de 16 vigas ensayadas.

*Tabla 8. Dosificación vigas Bagazo de Caña*

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 	
<b>DOSIFICACIÓN</b>	VIGAS (750 mm x 150 mm x 150 mm) FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA
<b>REALIZADO POR</b>	Jhojaan Alexander Villacrés Yépez
<b>CANTIDAD</b>	4
DOSIFICACIÓN AL PESO	
Material	Cantidad (kg) para 1m <sup>3</sup>
<b>AGUA</b>	W ( lt ) 13
<b>CEMENTO</b>	C 22
<b>ARENA</b>	A 56
<b>RIPIO</b>	R 67
	<b>% PET</b> <b>PET (Kg)</b> <b>R. Final (Kg)</b>
	<b>1.50%</b> 1.01    65.99
	<b>2.50%</b> 1.68    65.32
	<b>5.00%</b> 3.35    63.65
	<b>7.50%</b> 5.03    61.97

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

La corrección por humedad y homogeneidad de la mezcla en cada porcentaje es para el volumen de 0.068 m<sup>3</sup> de hormigón, en el cual se adiciona en base a la relación agua/cemento.

#### 3.4.1 Análisis vigas 1.5% Bagazo de Caña

Para la elaboración de las vigas con el porcentaje de 1.5% fibras de bagazo de caña se incrementó en base a la relación agua/cemento un porcentaje de agua equivalente al 12% es decir 1.5 lt y la cantidad de cemento correspondiente 2.64 kg.

### 3.4.2 Análisis vigas 2.5% Bagazo de Caña

Para la elaboración de las vigas con el porcentaje de 2.5% fibras de bagazo de caña se incrementó en base a la relación agua/cemento un porcentaje de agua equivalente al 16% es decir 2.1 lt y la cantidad de cemento correspondiente 3.52 kg.

### 3.4.3 Análisis vigas 5% Bagazo de Caña

Para la elaboración de las vigas con el porcentaje de 5% fibras de bagazo de caña se incrementó en base a la relación agua/cemento un porcentaje de agua equivalente al 20 % es decir 2.6 lt y la cantidad de cemento correspondiente 4.4 kg.

### 3.4.4 Análisis vigas 7.5% Bagazo de Caña

Para la elaboración de las vigas con el porcentaje de 7.5% fibras de bagazo de caña se incrementó en base a la relación agua/cemento un porcentaje de agua equivalente al 24% es decir 3.1 lt y la cantidad de cemento correspondiente 5.3 kg.



*Tabla 9. Resumen de la relación agua/cemento añadido para el volumen 0.068m<sup>3</sup> bagazo de caña*

FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA			
MATERIAL	PORCENTAJE INCREMENTADO	CANTIDAD DE AGUA	CANTIDAD DE CEMENTO
	%	LITROS	Kg
FBC 1.5%	12	1.5	2.64
FBC 2.5%	16	2.1	3.52
FBC 5%	20	2.6	4.4
FBC 7.5%	24	3.1	5.3

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

Se realiza el cálculo correspondiente para 1 m<sup>3</sup> de hormigón con el 1.5% de Fibras de bagazo de caña, tomando en cuenta el porcentaje de agua/cemento del 12% que se incrementa, dando una dosificación final como se establece en la TABLA 12

*Tabla 10. Dosificación final 1.5 fibras bagazo de caña para 1m<sup>3</sup>*

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 		
<b>DOSIFICACIÓN</b>	VIGAS (750 mm x 150 mm x 150 mm) F'c = 210 Kg/cm <sup>2</sup>	
<b>REALIZADO POR</b>	Jhojaan Alexander Villacrés Yépez	
<b>CANTIDAD</b>	1 m <sup>3</sup>	
DOSIFICACIÓN AL PESO 1.5% FIBRAS BAGAZO DE CAÑA		
Material		Cantidad (kg) para 1m <sup>3</sup>
AGUA	W ( lt )	206.19
CEMENTO	C	355.49
ARENA	A	824.6
RIPIO	R	969.93
FIBRAS BAGAZO DE CAÑA	FBC	14.77

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*



### 3.5 Resultados de Ensayos a Flexión

Los resultados presentados a continuación son obtenidos en los ensayos de resistencia a la flexión con la dosificación de la muestra de prueba para un hormigón tradicional de 21 MPa o 210 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 3.5.1 Especímenes vigas de hormigón tradicional $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

La siguiente tabla proporciona el informe de los resultados obtenidos en el ensayo a Flexión de los especímenes dosificados para hormigón simple 210 kg/cm<sup>2</sup>.

*Tabla 11. Informe de resultados a flexión hormigón 210 kg/cm<sup>2</sup>*



 		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
ORIGEN		CANTERAS NIETO Cod. 200982							
REALIZADO POR		Jhojaan Alexander Villacrés Yépez			F'c		210 kg/cm <sup>2</sup>		
FECHA		09/06/2021		MATERIAL		HOMIGÓN TRADICIONAL			
ENSAYO A FLEXIÓN									
PROBETA	CARGA MÁXIMA (P)	LUZ LIBRE (L)	ANCHO EN LA FRACTURA (b)	ALTURA EN LA FRACTURA (d)	SECCIÓN DE FALLA	DÍAS	MÓDULO DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO	MÓDULO DE ROTURA TEÓRICO
#	N	mm	mm	mm		#	MPa	MPa	Mpa
1	133890	690	462	455	Tercio medio	14	0.966	1.370	2.60
2	111730	690	345	355	Tercio medio		1.773		
3	225893	690	385	387	Tercio medio	28	2.703	2.706	2.90
4	224560	690	384	386	Tercio medio		2.708		

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

### 3.5.2 Especímenes vigas de 1.5% PET

La siguiente tabla proporciona el informe de los resultados obtenidos en el ensayo a Flexión de los especímenes dosificados con sustitución del 1.5% de PET reciclado.

*Tabla 12. Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 1.5% PET*



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 									
<b>ORIGEN</b>		CANTERAS NIETO Cod. 200982							
<b>REALIZADO POR</b>		Jhojaan Alexander Villacrés Yépez			F'c		210 kg/cm <sup>2</sup>		
<b>FECHA</b>		09/06/2021			<b>MATERIAL</b>		VIGAS PET		
<b>ENSAYO A FLEXIÓN</b>									
PROBETA	PORCENTAJE	CARGA MÁXIMA (P)	LUZ LIBRE (L)	ANCHO EN LA FRACTURA (b)	ALTURA EN LA FRACTURA (d)	SECCIÓN DE FALLA	DÍAS	MÓDULO DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO
#		N	mm	mm	mm		#	MPa	MPa
1	1.50%	14220	690	380	382	Tercio medio	14	0.177	0.255
2	1.50%	13200	690	308	298	Tercio medio		0.333	
3	1.50%	155670	690	421	428	Tercio medio	28	1.393	1.469
4	1.50%	158960	690	412	415	Tercio medio		1.546	

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

### 3.5.3 Especímenes vigas 2.5% PET

La siguiente tabla proporciona el informe de los resultados obtenidos en el ensayo a Flexión de los especímenes dosificados con sustitución del 2.5% de PET reciclado.

*Tabla 13. Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 2.5% PET*

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 									
<b>ORIGEN</b>		CANTERAS NIETO Cod. 200982							
<b>REALIZADO POR</b>		Jhojaan Alexander Villacrés Yépez			F'c		210 kg/cm <sup>2</sup>		
<b>FECHA</b>		09/06/2021			<b>MATERIAL</b>		VIGAS PET		
<b>ENSAYO A FLEXIÓN</b>									
PROBETA	PORCENTAJE	CARGA MÁXIMA (P)	LUZ LIBRE (L)	ANCHO EN LA FRACTURA (b)	ALTURA EN LA FRACTURA (d)	SECCIÓN DE FALLA	DÍAS	MÓDULO DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO
#		N	mm	mm	mm		#	MPa	MPa
1	2.50%	14860	690	319	308	Tercio medio	14	0.339	0.363
2	2.50%	15340	690	301	301	Tercio medio		0.388	
3	2.50%	147510	690	414	405	Tercio medio	28	1.499	1.554
4	2.50%	151450	690	410	398	Tercio medio		1.609	

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

### 3.5.4 Especímenes vigas 5% PET

La siguiente tabla proporciona el informe de los resultados obtenidos en el ensayo a Flexión de los especímenes dosificados con sustitución del 5% de PET reciclado.

*Tabla 14. Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 5% PET*



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 									
<b>ORIGEN</b>		CANTERAS NIETO Cod. 200982							
<b>REALIZADO POR</b>		Jhojaan Alexander Villacrés Yépez				F'c		210 kg/cm <sup>2</sup>	
<b>FECHA</b>		09/06/2021		<b>MATERIAL</b>		VIGAS PET			
ENSAYO A FLEXIÓN									
PROBETA	PORCENTAJE	CARGA MÁXIMA (P)	LUZ LIBRE (L)	ANCHO EN LA FRACTURA (b)	ALTURA EN LA FRACTURA (d)	SECCIÓN DE FALLA	DÍAS	MÓDULO DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO
#		N	mm	mm	mm		#	MPa	MPa
1	5%	94380	690	365	356	Tercio medio	14	1.408	1.427
2	5%	93560	690	358	353	Tercio medio		1.447	
3	5%	111460	690	334	331	Tercio medio	28	2.102	2.300
4	5%	119370	690	328	317	Tercio medio		2.499	

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

### 3.5.5 Especímenes vigas 7.5% PET

La siguiente tabla proporciona el informe de los resultados obtenidos en el ensayo a Flexión de los especímenes dosificados con sustitución del 7.5% de PET reciclado.

*Tabla 15. Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 7.5% PET*

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 									
<b>ORIGEN</b>		CANTERAS NIETO Cod. 200982							
<b>REALIZADO POR</b>		Jhojaan Alexander Villacrés Yépez				F'c		210 kg/cm <sup>2</sup>	
<b>FECHA</b>		09/06/2021		<b>MATERIAL</b>		VIGAS PET			
ENSAYO A FLEXIÓN									
PROBETA	PORCENTAJE	CARGA MÁXIMA (P)	LUZ LIBRE (L)	ANCHO EN LA FRACTURA (b)	ALTURA EN LA FRACTURA (d)	SECCIÓN DE FALLA	DÍAS	MÓDULO DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO
#		N	mm	mm	mm		#	MPa	MPa
1	7.50%	124780	690	394	401	Tercio medio	14	1.359	1.324
2	7.50%	121410	690	398	404	Tercio medio		1.290	
3	7.50%	134560	690	321	317	Tercio medio	28	2.878	3.052
4	7.50%	138400	690	312	308	Tercio medio		3.226	

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*



### 3.5.6 Especímenes vigas 8.5% y 10% PET

En la siguiente tabla se muestra el informe de los resultados obtenidos mediante extrapolación siguiendo la tendencia a la estabilización de resultados para los ensayos a Flexión de los especímenes con sustitución del 8.5% y 10% de PET reciclado.

Tabla 16. Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 8.5% y 10 %PET



ORIGEN		CANTERAS NIETO Cod. 200982							
REALIZADO POR		Jhojaan Alexander Villacrés Yépez			F'c		210 kg/cm2		
FECHA		09/06/2021		MATERIAL		VIGAS PET			
ENSAYO A FLEXIÓN									
PROBETA	PORCENTAJE	CARGA MÁXIMA (P)	LUZ LIBRE (L)	ANCHO EN LA FRACTURA (b)	ALTURA EN LA FRACTURA (d)	SECCIÓN DE FALLA	DÍAS	MÓDULO DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO
#		N	mm	mm	mm		#	MPa	MPa
1	8.50%	EXTRAPOLACIÓN				Tercio medio	14		1.501
2	8.50%	EXTRAPOLACIÓN				Tercio medio	28		3.317
1	10.00%	EXTRAPOLACIÓN				Tercio medio	14		1.510
2	10.00%	EXTRAPOLACIÓN				Tercio medio	28		3.319

Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.

### 3.5.7 Especímenes vigas 1.5% Fibras de bagazo de caña

La siguiente tabla proporciona el informe de los resultados obtenidos en el ensayo a Flexión de los especímenes dosificados con sustitución del 1.5% de Fibras de bagazo de caña.

*Tabla 17. Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 1.5% Fibras de bagazo de caña*



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 									
<b>ORIGEN</b>		CANTERAS NIETO Cod. 200982							
<b>REALIZADO POR</b>		Jhojaan Alexander Villacrés Yépez				<b>F'c</b>		210 kg/cm <sup>2</sup>	
<b>FECHA</b>		09/06/2021		<b>MATERIAL</b>		VIGAS BAGAZO DE CAÑA			
ENSAYO A FLEXIÓN									
PROBETA	PORCENTAJE	CARGA MÁXIMA (P)	LUZ LIBRE (L)	ANCHO EN LA FRACTURA (b)	ALTURA EN LA FRACTURA (d)	SECCIÓN DE FALLA	DÍAS	MÓDULO DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO
#		N	mm	mm	mm		#	MPa	MPa
1	1.50%	116030	690	465	457	Tercio medio	14	0.824	0.819
2	1.50%	118720	690	464	466	Tercio medio		0.813	
3	1.50%	123450	690	458	452	Tercio medio	28	0.910	0.913
4	1.50%	122580	690	454	451	Tercio medio		0.916	

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

### 3.5.8 Especímenes vigas 2.5% Fibras de bagazo de caña

La siguiente tabla proporciona el informe de los resultados obtenidos en el ensayo a Flexión de los especímenes dosificados con sustitución del 2.5% de Fibras de bagazo de caña.

*Tabla 18. Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 2.5% Fibras de bagazo de caña*

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 									
<b>ORIGEN</b>		CANTERAS NIETO Cod. 200982							
<b>REALIZADO POR</b>		Jhojaan Alexander Villacrés Yépez				<b>F'c</b>		210 kg/cm <sup>2</sup>	
<b>FECHA</b>		09/06/2021		<b>MATERIAL</b>		VIGAS BAGAZO DE CAÑA			
ENSAYO A FLEXIÓN									
PROBETA	PORCENTAJE	CARGA MÁXIMA (P)	LUZ LIBRE (L)	ANCHO EN LA FRACTURA (b)	ALTURA EN LA FRACTURA (d)	SECCIÓN DE FALLA	DÍAS	MÓDULO DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO
#		N	mm	mm	mm		#	MPa	MPa
1	2.50%	89560	690	467	469	Tercio medio	14	0.602	0.617
2	2.50%	88570	690	461	458	Tercio medio		0.632	
3	2.50%	95740	690	455	458	Tercio medio	28	0.692	0.721
4	2.50%	97840	690	446	449	Tercio medio		0.751	

### 3.5.9 Especímenes vigas 5% Fibras de bagazo de caña

La siguiente tabla proporciona el informe de los resultados obtenidos en el ensayo a Flexión de los especímenes dosificados con sustitución del 5% de Fibras de bagazo de caña.

*Tabla 19. Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 5% Fibras de bagazo de caña*

ORIGEN		CANTERAS NIETO Cod. 200982							
REALIZADO POR		Jhojaan Alexander Villacrés Yépez			F'c		210 kg/cm <sup>2</sup>		
FECHA		09/06/2021		MATERIAL		VIGAS BAGAZO DE CAÑA			
ENSAYO A FLEXIÓN									
PROBETA	PORCENTAJE	CARGA MÁXIMA (P)	LUZ LIBRE (L)	ANCHO EN LA FRACTURA (b)	ALTURA EN LA FRACTURA (d)	SECCIÓN DE FALLA	DÍAS	MÓDULO DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO
#		N	mm	mm	mm		#	MPa	MPa
1	5%	61450	690	457	449	Tercio medio	14	0.460	0.475
2	5%	61960	690	442	444	Tercio medio		0.491	
3	5%	72450	690	435	438	Tercio medio	28	0.599	0.608
4	5%	71150	690	433	429	Tercio medio		0.616	

### 3.5.10 Especímenes vigas 7.5% Fibras de bagazo de caña

La siguiente tabla proporciona el informe de los resultados obtenidos en el ensayo a Flexión de los especímenes dosificados con sustitución del 7.5% de Fibras de bagazo de caña.

*Tabla 20. Informe de resultados de resistencia a flexión vigas 7.5% Fibras de bagazo de caña*

ORIGEN		CANTERAS NIETO Cod. 200982							
REALIZADO POR		Jhojaan Alexander Villacrés Yépez			F'c		210 kg/cm <sup>2</sup>		
FECHA		09/06/2021		MATERIAL		VIGAS BAGAZO DE CAÑA			
ENSAYO A FLEXIÓN									
PROBETA	PORCENTAJE	CARGA MÁXIMA (P)	LUZ LIBRE (L)	ANCHO EN LA FRACTURA (b)	ALTURA EN LA FRACTURA (d)	SECCIÓN DE FALLA	DÍAS	MÓDULO DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO
#		N	mm	mm	mm		#	MPa	MPa
1	7.50%	41230	690	446	441	Tercio medio	14	0.328	0.336
2	7.50%	41147	690	439	433	Tercio medio		0.345	
3	7.50%	49950	690	397	395	Tercio medio	28	0.556	0.554
4	7.50%	47940	690	390	392	Tercio medio		0.552	

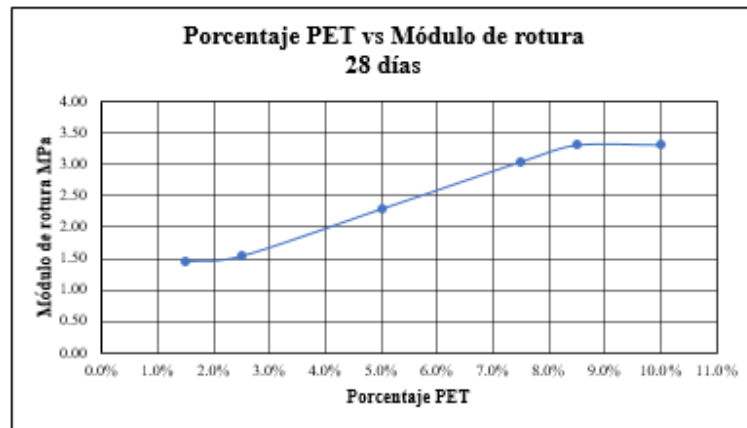
### 3.6 Relación porcentaje PET vs Módulo de rotura

En la siguiente tabla se analiza la relación entre la resistencia a flexión vs porcentaje de PET reciclado a los 28 días.

*Tabla 21. Relación porcentaje PET vs Resistencia a flexión*

PET	
PORCENTAJE	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO
%	Mpa
1.50%	1.469
2.50%	1.554
5%	2.300
7.50%	3.052
8.50%	3.317
10.00%	3.319

*Ilustración 34. Relación porcentaje PET vs Resistencia flexión*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

En el análisis de la relevante incorporación de PET dichos porcentajes antes mencionados la relación que existe es directamente proporcional ya que a mayor porcentaje PET la resistencia a flexión es este caso es mayor.

Se comprueba que con la incorporación de 1.5% PET respecto a el peso del agregado grueso, la resistencia a flexión está por debajo del módulo de rotura con un 50% de la viga de hormigón tradicional. Sin embargo, al seguir subiendo el porcentaje su módulo de rotura aumenta progresivamente ya que con 5% PET, aumenta su resistencia un 37% y con 7.5% PET, aumenta su resistencia en un 49 % y sobrepasa a la viga de hormigón tradicional.

En el rango de 8.5% hasta 10% PET se observa una tendencia a estabilizarse la relación porcentaje PET vs Módulo de rotura, evidenciando que a porcentajes mayores del 7.5% PET adicionado, no actúa como refuerzo, sino que se mantiene y posteriormente baja la resistencia.

Comprobando así que el mejor comportamiento se obtiene aumentando el porcentaje PET, pero considerando un rango de 5% a 7.5% PET para que la homogeneidad de la mezcla y la resistencia deseada no se vean afectadas. Pudiendo suponer que el PET actúa como refuerzo a la flexión en la base de mezcla de hormigón.

### 3.7 Relación porcentaje Fibra de bagazo de caña vs Módulo de rotura.

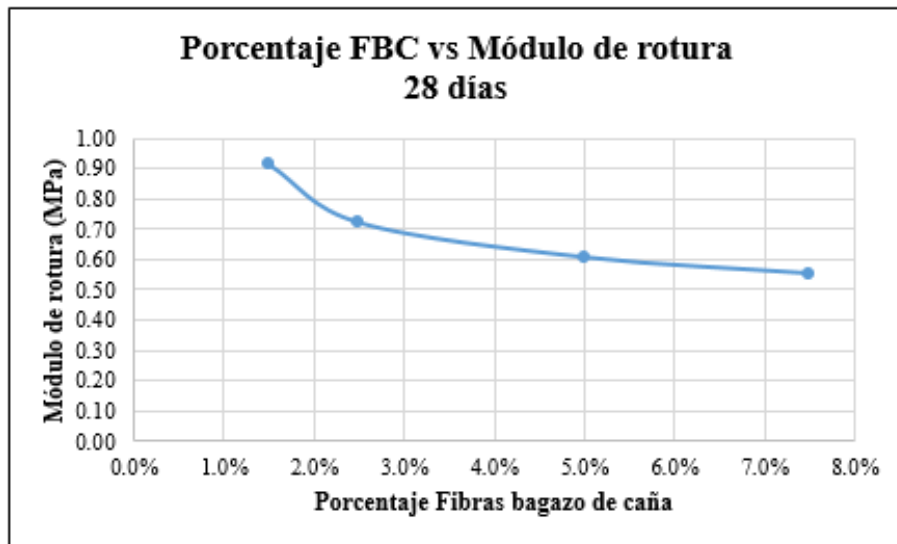
En la siguiente tabla se analiza la relación entre la resistencia a flexión vs porcentaje de fibras de bagazo de caña a los 28 días.

**Tabla 22.** Relación porcentaje FBC vs Resistencia a flexión

<b>Fibras bagazo de caña</b>	
<b>PORCENTAJE</b>	<b>MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO</b>
<b>%</b>	<b>Mpa</b>
1.50%	0.913
2.50%	0.721
5%	0.608
7.50%	0.554

**Fuente:** Jhojaan A. Villacrés Y.

Ilustración 35. Relación porcentaje FBC vs Resistencia a flexión



Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.

En el análisis de la relevante incorporación de fibras, dichos porcentajes antes mencionados la relación que existe es indirectamente proporcional, a mayor porcentaje de fibra menor es la resistencia por flexión.

La resistencia a flexión se ve disminuida debido a que se incorpora más fibra en el elemento.

En el estudio realizado se comprueba que al incorporar 1.5% de fibra con respecto al peso del agregado grueso, la resistencia por flexión está en un 68% debajo de la resistencia de la viga de hormigón tradicional. Al incorporar 5% de fibras desciende a un 79% respecto a la viga de hormigón tradicional 210 kg/cm<sup>2</sup>. Y para el 7.5% de fibra perdió 81% de la resistencia por flexión respecto a la viga de hormigón tradicional.

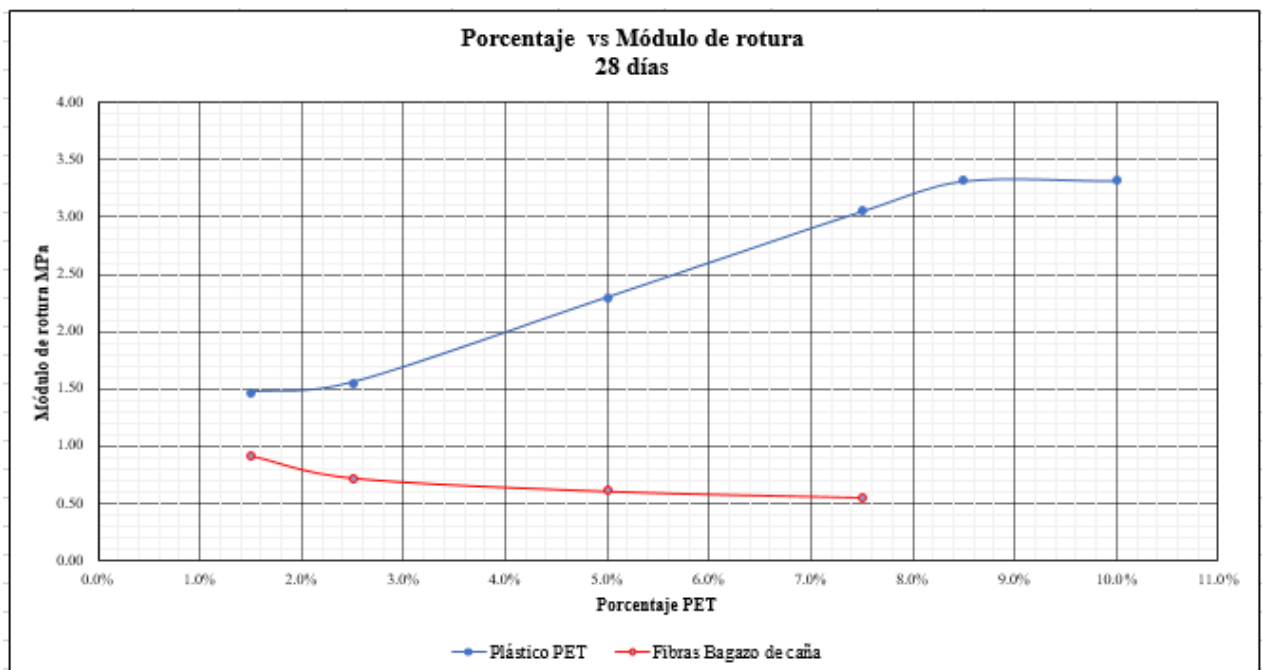
Se comprueba definitivamente luego de ensayarse las probetas con los diferentes porcentajes que, en este ensayo, el bagazo no mejora en nada la resistencia del hormigón a la flexión La fibra no está funcionando como refuerzo a la flexión en la viga. Esto se

evidencia ya que al incorporar cantidades superiores a 1.5% con respecto al agregado grueso, no hay aporte en la resistencia.

### 3.8 Relación Módulo de rotura de la Fibra de bagazo de caña VS plástico PET reciclado.

En la ilustración se realiza una comparativa entre el porcentaje de adición PET vs Módulo de rotura frente al porcentaje de fibras de bagazo de caña vs Módulo de rotura, donde se marca la tendencia de los resultados favoreciendo al PET con una mejor resistencia.

*Ilustración 36. Relación Módulo de rotura de la Fibra de bagazo de caña VS plástico PET reciclado*



*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

### 3.9 Relación costo Fibra de bagazo de caña VS plástico PET reciclado.

Para el análisis se cuantifica el precio para un metro cúbico reforzado con fibra de bagazo de caña, y el precio para un metro cúbico reforzado con PET reciclado, Adicionalmente un metro cubico de hormigón tradicional. Es decir que, se realizó el análisis de precio unitario. La Tabla 25 muestra el precio para la producción de un metro cúbico de hormigón tradicional sin refuerzo con un valor de \$ 117.51.

**Tabla 23.** Análisis de precio unitario para la elaboración de un metro cúbico de hormigón tradicional

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO :	01			HOJA 1 DE 3	
DETALLE :	Hormigón tradicional f'c = 210 kg/cm2			Unidad	m3
EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.		1.83			1.83
Concretera de 1 saco	1.00	3.10	3.10	1.25	3.88
vibrador INGECO a gasolina	1.00	3.00	3.00	1.00	3.00
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>8.71</b>
MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Peón EO E2	1.00	3.62	3.62	0.710	2.570
Maestro de obra EO C1	1.00	4.06	4.06	0.710	2.883
Albañil EO D2	1.00	3.66	3.66	0.710	2.599
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>8.051</b>
MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB	
Cemento Portland puzolánico tipo IP selvalegre	saco 50 kg	6.350	7.70	48.90	
Agua	lt	184	0.01	1.84	
Arena	kg	0.820	15.00	12.30	
Ripio 3/4	kg	0.980	18.50	18.13	
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>81.17</b>	
TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB	
<b>SUBTOTAL P</b>				<b>0.00</b>	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>97.92</b>
<b>INDIRECTOS (%)</b>					<b>20.00%</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>117.51</b>
<b>VALOR UNITARIO</b>					<b>117.51</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*



La Tabla 26 muestra el precio para la producción de un metro cúbico de hormigón tradicional reforzado con 1.5% fibras de bagazo de caña con un valor de \$128.12.

*Tabla 24. Análisis de precio unitario para la elaboración de un metro cúbico de hormigón reforzado con fibra de bagazo de caña.*

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO :	02			HOJA 2 DE 3	
DETALLE :	Hormigón tradicional f'c = 210 kg/cm <sup>2</sup> reforzado con 1.5 % fibras de bagazo de caña			Unidad	m <sup>3</sup>
EQUIPO DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta Menor 5% de M.O.		1.83			1.83
Concretera de 1 saco	1.00	3.10	3.10	1.25	3.88
vibrador INGECO a gasolina	1.00	3.00	3.00	1.00	3.00
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>8.71</b>
MANO DE OBRA DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Peón EO E2	1.00	3.62	3.62	0.710	2.570
Maestro de obra EO C1	1.00	4.06	4.06	0.710	2.883
Albañil EO D2	1.00	3.66	3.66	0.710	2.599
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>8.051</b>
MATERIALES DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=AxB	
Cemento Portland puzolánico tipo IP selvalegre	saco 50 kg		7.110	7.70	54.75
Fibra natural del bagazo de caña de azucar	kg		14.77	0.20	2.95
Agua	lt		206	0.01	2.06
Arena	kg		0.820	15.00	12.30
Ripio 3/4	kg		0.970	18.50	17.95
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>90.01</b>
TRANSPORTE DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0.00</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>106.76</b>
<b>INDIRECTOS (%)</b> 20.00%					<b>21.35</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>128.12</b>
<b>VALOR UNITARIO</b>					<b>128.12</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

La Tabla 27 muestra el precio para la producción de un metro cúbico de hormigón tradicional con 5% PET reciclado con un valor de \$ 134.51

*Tabla 25. Análisis de precio unitario para la elaboración de un metro cúbico de hormigón reforzado con PET reciclado.*

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO :	03			HOJA 3 DE 3	
DETALLE :	Hormigón tradicional f'c = 210 kg/cm2 reforzado con Plástico 5% PET reciclado			Unidad	m3
<b>EQUIPO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
<b>DESCRIPCION</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=AxB</b>	<b>R</b>	<b>D=CxR</b>
Herramienta Menor 5% de M.O.		1.83			1.83
Concreteira de 1 saco	1.00	3.10	3.10	1.25	3.88
vibrador INGECO a gasolina	1.00	3.00	3.00	1.00	3.00
<b>SUBTOTAL M</b>					<b>8.71</b>
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>JORNAL/HR</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
<b>DESCRIPCION</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=AxB</b>	<b>R</b>	<b>D=CxR</b>
Peón	EO E2	1.00	3.62	0.710	2.570
Maestro de obra	EO C1	1.00	4.06	0.710	2.883
Albañil	EO D2	1.00	3.66	0.710	2.599
<b>SUBTOTAL N</b>					<b>8.051</b>
<b>MATERIALES</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNIT.</b>	<b>COSTO</b>	
<b>DESCRIPCION</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=AxB</b>	
Cemento Portland puzolánico tipo IP selvalegre	saco 50 kg	6.860	7.70	52.82	
Plastico PET reciclado	kg	49.2	0.22	10.83	
Agua	lt	199	0.01	1.99	
Árena	kg	0.820	15.00	12.30	
Ripio 3/4	kg	0.940	18.50	17.39	
<b>SUBTOTAL O</b>					<b>95.33</b>
<b>TRANSPORTE</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO</b>	
<b>DESCRIPCION</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=AxB</b>	
<b>SUBTOTAL P</b>					<b>0.00</b>
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</b>					<b>112.09</b>
<b>INDIRECTOS (%)</b> 20.00%					<b>22.42</b>
<b>COSTO TOTAL DEL RUBRO</b>					<b>134.51</b>
<b>VALOR UNITARIO</b>					<b>134.51</b>

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

Relación entre los costos y sus tipos de refuerzo.

*Tabla 26. Relación entre el hormigón tradicional y su tipo de refuerzo*

<b>RELACIÓN ENTRE HORMIGONES Y SUS TIPOS DE REFUERZO</b>	
<b>MATERIAL</b>	<b>COSTO (m3)</b>
Hormigón tradicional $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	117.51
Hormigón tradicional $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ reforzado con 1.5 % fibras de bagazo de caña	128.12
Hormigón tradicional $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ reforzado con Plástico 5% PET reciclado	134.51

*Fuente: Jhojaan A. Villacrés Y.*

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Importancia de realizar el trabajo experimental

El ACI 544 recomienda la investigación sobre el uso de fibras naturales como refuerzo de hormigón tradicional, ya que es un material de bajo costo y de una producción a gran escala en países en desarrollo como Ecuador.

Según los últimos datos del INEC, en el 2018 los ecuatorianos arrojaron 12.739,01 toneladas de basura diarias. De ellas, el 11,43% era plástico. Eso representa la cifra colosal de 531.461 toneladas anuales de ese material.

Esta investigación ayudaría a bajar costos en los diferentes procesos del área de construcción de obras civiles y por lo tanto generaría alternativas para el aprovechamiento de estos materiales y sean usados como refuerzos estructurales, pero sobretodo ayudar al medio ambiente.

#### 4.2 Comportamiento mecánico y porcentajes óptimos de refuerzo PET

En el análisis de la relevante incorporación de PET dichos porcentajes antes mencionados la relación que existe es directamente proporcional ya que a mayor porcentaje PET la resistencia a flexión es este caso es mayor.

Se comprueba que con la incorporación de 1.5% PET respecto a el peso del agregado grueso, la resistencia a flexión está por debajo del módulo de rotura con un 50% de la viga de hormigón tradicional. Sin embargo, al seguir subiendo el porcentaje su módulo de rotura aumenta progresivamente ya que con 5% PET, aumenta su resistencia un 37%, y con 7.5% PET, aumenta su resistencia en un 49 % con lo cual sobrepasa a la viga de hormigón tradicional.

El mejor comportamiento se obtiene aumentando el porcentaje PET, pero considerando un rango de 5% a 7.5% PET para que la homogeneidad de la mezcla y la resistencia deseada no se vean afectadas. Pudiendo suponer que el PET actúa como refuerzo a flexión en la base de mezcla de hormigón.

#### **4.3 Comportamiento mecánico y porcentajes óptimos de refuerzo Fibras de bagazo de caña.**

En el análisis de la relevante incorporación de fibras, dichos porcentajes antes mencionados la relación que existe es indirectamente proporcional, a mayor porcentaje de fibra menor es la resistencia por flexión

La resistencia a flexión se ve disminuida debido a que se incorpora más fibra en el elemento.

En el trabajo experimental realizado se comprueba que al incorporar 1.5% de fibra con respecto al peso del agregado grueso, la resistencia por flexión está en un 68% debajo de la resistencia de la viga de hormigón tradicional. Al incorporar 5% de fibras desciende a un 79% respecto a la viga de hormigón tradicional 210 kg/cm<sup>2</sup>. Y para el 7.5% de fibra perdió 81% de la resistencia por flexión respecto a la viga de hormigón tradicional.

Se comprueba definitivamente luego de ensayarse las probetas con los diferentes porcentajes que, en este ensayo, el bagazo no mejora en nada la resistencia del hormigón a la flexión La fibra no está funcionando como refuerzo a la flexión en la viga. Esto se evidencia ya que al incorporar cantidades superiores a 1.5% con respecto al agregado grueso, no hay aporte en la resistencia

#### **4.4 Protección para evitar degradación de las fibras de bagazo de caña**

El proceso de control para el desgaste y protección de factores físicos y químicos en las fibras, se priorizó el uso de la cal viva, como un elemento disuelto en agua para que logre máxima absorción por las fibras. La homogeneidad de la pasta de cemento y la fibra fue directa y sin vacíos entre dichos elementos. Durante los ensayos efectuados en el laboratorio se observó que la fibra no disminuyó resistencia dentro de la mezcla de

hormigón tradicional, perdurando completa en su estructura, lo que evidencia el correcto proceso de protección descrito.

#### **4.5 . Dosificación de mezclas de hormigón**

Las primeras vigas tradicionales, tuvieron poca trabajabilidad, faltó un pequeño porcentaje de agua, con lo cual se corrigió con un ajuste que se realizó al diseño, tomando en cuenta la relación agua /cemento correspondiente a 3% es decir agua 0.5 lt y cemento 0.9 kg.

Las vigas de hormigón tradicional reforzadas con fibras de bagazo de caña, mientras la adición de fibras era más alta, la mezcla iba perdiendo fluidez con lo que se recurrió a adicionar agua/cemento en porcentajes desde 12% para el 1.5% FBC , 16% para el 2.5% FBC, 20% para el 5% FBC, 24% para el 7.5% poder corregir el diseño como se observa en la Tabla 11.

Las vigas de hormigón tradicional reforzadas con PET reciclado, mientras la adición subía su resistencia fue en aumento, de igual manera se tuvo que corregir su fluidez aplicando la relación agua cemento en porcentajes considerablemente más bajos que las fibras ya que solo fueron desde 4% para el 1.5% PET, 6% para el 2.5% PET, 8% para el 5.5% PET, 10% para el 7.5% PET para poder corregir el diseño como se presenta en la Tabla 8.

#### **4.6 Ventajas y desventajas del hormigón reforzado con Fibras de bagazo de caña**

##### **VENTAJAS**

Considerando la resistencia a la flexión, se puede concluir que con porcentajes de 1.5% de fibra o menores, se obtiene módulos de rotura aceptables dependiendo el uso que se va a emplear dicho hormigón.

El uso de la fibra de bagazo de caña de azúcar como fibra natural dentro del trapiche o molienda está alrededor del 20% del volumen de producción. Con esto el presente trabajo experimental se previene que el 80% restante de bagazo sea desechado o quemado.

Dependiendo el uso que requiera, el hormigón tradicional reforzado con fibras, tiene una baja densidad como material, por lo tanto, es inversamente proporcional a la cantidad de fibra que contenga.

Al ser un material de origen natural se obtiene grandes cantidades, a precios bastante bajos.

#### DESVENTAJAS

Este material al no ser industrializado aún, el proceso que se lleva a cabo para que sea apto es de una forma artesanal.

La degradación bastante rápida de las fibras en contacto con el cemento, es un problema para su utilización.

Tiene bastante porcentaje de absorción de agua, con lo que, si no se corrige esto, el hormigón se vuelve bastante seco y afecta al fraguado.

Porcentajes mayores a 1.5% de fibra, pierde las características de resistencia rápidamente.

#### **4.7 Ventajas y desventajas del hormigón reforzado con PET reciclado.**

##### VENTAJAS

Considerando la resistencia a la flexión, se puede concluir que con porcentajes entre 5% y 7% son los óptimos para tener un hormigón de características buenas como en fluidez y resistencia a la hora de emplearlos en obra.

El uso del PET reciclado como refuerzo del hormigón da buenos resultados dentro de los porcentajes mencionados, con lo cual, el uso ayudaría a reducir la contaminación por plástico en Ecuador y sobre todo tener una visión más amplia en cuanto a materiales de construcción se refiere.

El hormigón reforzado con PET puede ser utilizado, ya que su módulo de rotura a los 28 días está en una resistencia del 90% - 100% respecto al módulo de rotura teórico, con lo que está dentro de los rangos aceptables según la NTE INEN 2554.

Por ser un material plástico no absorbe en grandes porcentajes el agua de la mezcla, lo que permite una corrección de humedad bastante rápida.

El proceso para la obtención del PET ya listo para su uso, es industrializado, lo que hace más fácil utilización a gran escala.

#### DESVENTAJAS

Porcentajes menores a 5% no alcanzan la resistencia a flexión optima respecto a su módulo de rotura teórico.

Porcentajes mayores al 7.5% hacen que la fluidez de la mezcla no sea la adecuada para trabajar en obra ya que se torna bastante seca y rígida.

#### **4.8 Costo de hormigón tradicional VS hormigón reforzado**

Para el análisis se cuantifica el precio para un metro cúbico reforzado con fibra de bagazo de caña, y el precio para un metro cúbico reforzado con PET reciclado, Adicionalmente un metro cubico de hormigón tradicional. Es decir que, se realizó el análisis de precio unitario respectivo. La Tabla 25 muestra el precio para la producción de un metro cúbico de hormigón tradicional sin refuerzo con un valor de \$ 117.51. La Tabla 26 muestra el precio para la producción de un metro cúbico de hormigón tradicional reforzado con 1.5% fibras de bagazo de caña con un valor de \$128.12. La Tabla 27 muestra el precio para la producción de un metro cúbico de hormigón tradicional con PET reciclado con un valor de \$ 134.51

Con estos valores se representa los porcentajes correspondientes a la cantidad de refuerzo, por un lado, el bagazo de caña con 1.5% de adición a la mezcla, el cual se evidenció que no aportó en nada a su refuerzo y por otro lado el 5% de PET, el cual, si actuó como refuerzo, teniendo un costo más alto que los demás, pero mejorando su calidad en cuanto a su resistencia; se debe tener en cuenta el costo-beneficio de este material.



#### **4.9 Materiales utilizados**

En el presente trabajo experimental se utilizó materiales de la zona de las Viñas, paso lateral de Ambato, "CANTERAS NIETO" Cod. 200982, agregados como: arena lavada y triturado 3/4, todos estos aptos para la elaboración de hormigón.

El cemento SELVALEGRE, cemento Portland Puzolánico Tipo IP de buenas características, y el agua sin ningún tipo de contaminantes.

#### **4.10 Recomendaciones Generales**

Saturar las fibras de bagazo de caña antes de su uso en obra para evitar la absorción excesiva de agua y afectaciones en el fraguado.

Las fibras de bagazo de caña de preferencia sean molidas al grado de obtener fibras entre 5mm a 10 mm, como un máximo para su mejor fluidez de hormigón.

Se recomienda un tratamiento previo a las fibras de bagazo de caña para evitar agentes orgánicos influyan en el comportamiento de las mismas.

Se recomienda tener en cuenta las correcciones de humedad si los materiales a utilizar están completamente secos, en SSS o completamente saturados.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. A. H. MEJÍA, «[www.redalyc.org](http://www.redalyc.org),» Universidad Nacional de Colombia, 11 2007. ... [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/496/49615322.pdf>. [Último acceso: 31 01 2021].
- [2] G. S. S. ORTIZ, «[bibdigital.epn.edu.ec](http://bibdigital.epn.edu.ec),» EPN, 01 2020. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20707/1/CD%2010215.pdf>. [Último acceso: 19 11 2020].
- [3] H. B. C. Hernández, «[repositorio.upn.edu.pe](http://repositorio.upn.edu.pe),» UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE , 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/24147/Cabanillas%20Hern%20c3%a1ndez%20Harold%20Brando.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 31 01 2021].
- [4] S. MORÁN, «[www.planv.com.ec](http://www.planv.com.ec),» PLANV, 10 11 2020. [En línea]. Available: <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/nada-frena-plasticos-un-solo-uso-mas-260000-toneladas-al-ano-ecuador>. [Último acceso: 19 11 2020].
- [5] El productor, «[Elproductor.com](http://Elproductor.com),» Elproductor, 08 09 2011. [En línea]. Available: <https://elproductor.com/2011/09/ecuador-el-40-de-los-productos-plasticos-se-recicla/#:~:text=80.000%20toneladas%20de%20materiales%20elaborados,en%20el%20pa%C3%ADs%20cada%20a%C3%B1o..> [Último acceso: 19 11 2020].
- [6] M. E. D. Barberán, «[www.eumed.net](http://www.eumed.net),» Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, [En línea]. Available: <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/12/propiedades-bloques-construccion.html>. [Último acceso: 12 10 2020].
- [7] EDGAR JONATHAN CHACÓN GUERRA, «[bibdigital.epn.edu.ec](http://bibdigital.epn.edu.ec),» EPN, Julio 2012. [En línea]. Available:

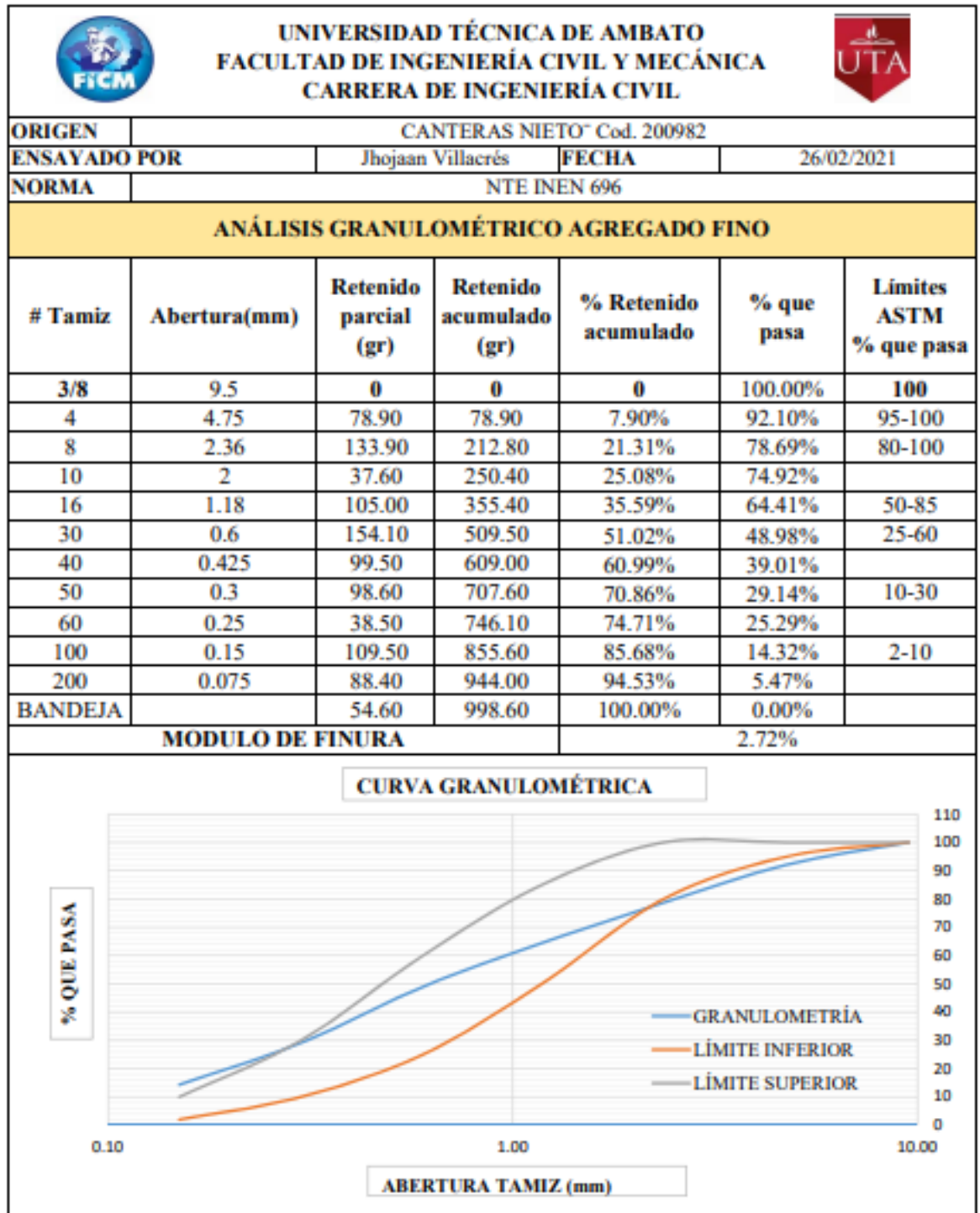
- <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4837/1/CD-4430.pdf>. [Último acceso: 12 10 2020].
- [8] Centro Experimental de la Vivienda Económica de Córdoba, «core.ac.uk,» Centro Experimental de la Vivienda Económica de Córdoba, 2003. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/267079044.pdf>. [Último acceso: 05 02 2020].
- [9] G. O. C. Javier, «<http://www.dspace.uce.edu.ec/>,» UCE, 2019. [En línea]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18579/1/T-UCE-0011-ICF-128.pdf>. [Último acceso: 12 10 2020].
- [10] SEMANA SOSTENIBLE , «sostenibilidad.semana.com,» PUBLICACIONES ..... SEMANA S.A., [En línea]. Available: <https://sostenibilidad.semana.com/negocios-verdes/articulo/plastico-pet-un-amigable-pero-no-inofensivo/36282>. [Último acceso: 12 10 2020].
- [11] M. C. M. Roberto, «<http://cybertesis.uni.edu.pe/>,» Universidad Nacional de Ingeniería, 2016. [En línea]. Available: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/5542>. [Último acceso: 12 10 2020].
- [12] M. J. E. CARVAJAL, «<http://dspace.ucuenca.edu.ec/>,» Universidad de Cuenca , Octubre 2015. [En línea]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23026/1/tesis.pdf>. [Último acceso: 12 10 2020].
- [13] M. M. Eugenia, «[rdu.unc.edu.ar](http://rdu.unc.edu.ar/),» [En línea]. Available: <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1576>. [Último acceso: 05 02 2021].
- [14] M. F. Carrasco, «[silو.tips](https://silو.tips/),» UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL , 26 06 2016. [En línea]. Available: <https://silو.tips/download/universidad-tecnologica-nacional-facultad-regional-santa-fe-4#>. [Último acceso: 05 02 2021].

- [15] UNACEM, «<https://unacem.com.ec/>,» [En línea]. Available: <https://ferrigonz.com.ec/wp-content/uploads/2018/01/Selvalegre.pdf>. [Último acceso: 15 04 2021].
- [16] P. P. S. L. M.A. Aziz, «[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com),» 2011. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0262507581900063>. [Último acceso: 03 06 2021].
- [17] Colegio Montessori Colomba, «[www.montessoricolomba.com](http://www.montessoricolomba.com),» Colegio Montessori Colomba, [En línea]. Available: <https://www.montessoricolomba.com/la-importancia-de-reciclar-envases-de-pet/>. [Último acceso: 05 03 2021].
- [18] OXFAM, «[blog.oxfamintermon.org](http://blog.oxfamintermon.org),» OXFAM, [En línea]. Available: <https://blog.oxfamintermon.org/por-que-es-tan-importante-reciclar-te-explicamos-5-razones/>. [Último acceso: 05 03 2021].
- [19] A. Paguay, «[repositorio.uta.edu.ec](http://repositorio.uta.edu.ec),» UTA, 2019. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Tesis%20I.%20C.%201342%20-%20Paguay%20C%C3%B3rdova%20Edison%20Andr%C3%A9s.pdf>. [Último acceso: 05 03 2021].
- [20] Norma Técnica Ecuatoriana , «[www.normalizacion.gob.ec](http://www.normalizacion.gob.ec),» INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN , 01 07 2009. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/156.pdf>. [Último acceso: 05 03 2021].
- [21] ASTM, «<https://la.astm.org/>,» ASTM, [En línea]. Available: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/C566-97R04-SP.htm>. [Último acceso: 08 03 2021].

- [22] C. P. M. ESPERANZA, «[dspace.uce.edu.ec](http://dspace.uce.edu.ec),» UCE, [En línea]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2574/1/T-UCE-0011-89.pdf>. [Último acceso: 08 03 2021].
- [23] S. MEDINA, «DOSIFICACIÓN,» de *HORMIGÓN*, AMBATO, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, pp. 90-95.
- [24] NTE INEN , «[www.normalizacion.gob.ec](http://www.normalizacion.gob.ec),» INEN, 2010. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2528.pdf>. [Último acceso: 19 05 2021].
- [25] W. D. Borja Quinatnilla y J. P. Rea Castillo, «<http://www.dspace.uce.edu.ec/>,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4455>. [Último acceso: 02 06 2021].
- [26] HOLCIM, «<https://solucionesholcim.com/>,» [En línea]. Available: [https://solucionesholcim.com/wp-content/themes/holcim/pdfs/Holcim\\_Fuerte.pdf](https://solucionesholcim.com/wp-content/themes/holcim/pdfs/Holcim_Fuerte.pdf). [Último acceso: 05 02 2021].
- [27] J. Infante-Alcalde, «[scielo.conicyt.cl](http://scielo.conicyt.cl),» Escuela de Construcción Civil, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2019. [En línea]. Available: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000500025&script=sci\\_arttext&tlng=p](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642019000500025&script=sci_arttext&tlng=p). [Último acceso: 25 03 2021].

## ANEXOS

### ANEXO 1. GRANULOMETRÍAS





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

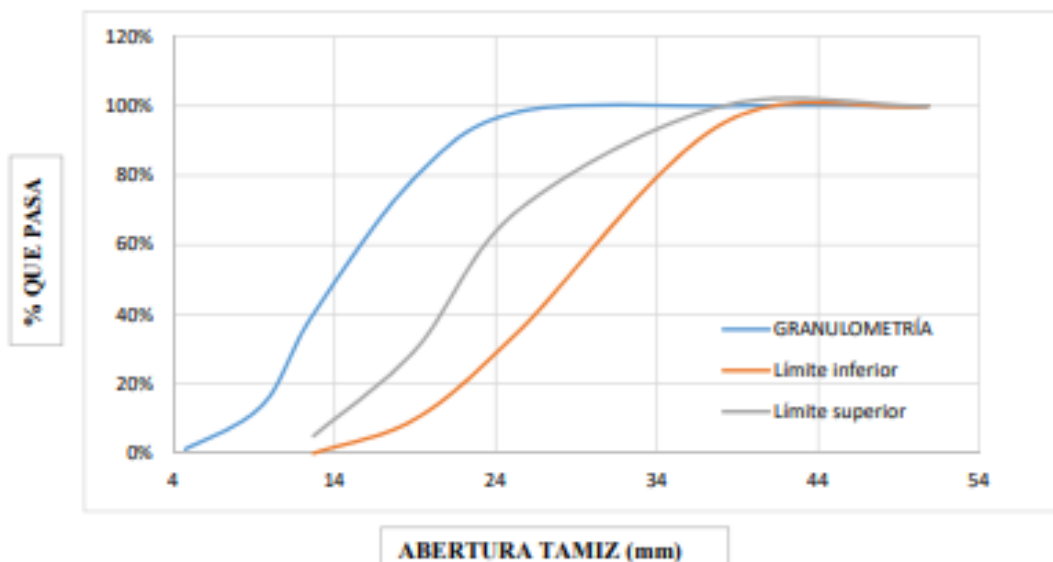


ORIGEN	CANTERAS NIETO Cod. 200982		
ENSAYADO POR	Jhojaan Villacrés	FECHA	26/02/2021
NORMA	NTE INEN 696		



**ANALISIS GRANULOMETRICO AGREGADO GRUESO**

Tamiz	Abertura(mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Limites ASTM % que pasa
2"	50.8	0	0	0.00%	100.00%	100
1 1/2 "	38.1	0	0	0.00%	100.00%	95-100
1"	25.4	169.6	169.6	1.70%	98.30%	-
3/4"	19.05	1856	2025.6	20.34%	79.66%	35-70
1/2"	12.7	3932.1	5957.7	59.82%	40.18%	-
3/8"	9.53	2618.6	8576.3	86.11%	13.89%	10-30
#4	4.75	1261.4	9837.7	98.77%	1.23%	0-5
BANDEJA		122.2	9959.9	100.00%	0.00%	-
<b>Tamaño nominal máximo</b>				<b>3/8"</b>		

**CURVA GRANULOMÉTRICA**







## ANEXO 2. DENSIDAD APARENTE Y COMPACTADA

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>ORIGEN</b>	CANTERAS NIETO Cod. 200982			
<b>ENSAYADO POR</b>	Jhojaan Villacrés	<b>FECHA</b>	11/03/2021	
<b>NORMA</b>	NTE INEN 858- ASTM C29			
<b>DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO</b>				
<b>MASA RECIPIENTE (kg)</b>	9.8			
<b>VOLUMEN RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>)</b>	20.568			
<b>AGREGADO</b>	<b>Agregado+Re cipient e (kg)</b>	<b>Agregado (kg)</b>	<b>Peso Unitario (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Unitario promedio (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
GRUESO	37.4	27.6	1.3419	1.340
	37.4	27.6	1.3419	
	37.3	27.5	1.3370	
FINO	43.9	34.1	1.6579	1.655
	43.8	34	1.6531	
	43.8	34	1.6531	

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>ORIGEN</b>	CANTERAS NIETO Cod. 200982			
<b>ENSAYADO POR</b>	Jhojaan Villacrés	<b>FECHA</b>	11/03/2021	
<b>NORMA</b>	NTE INEN 858- ASTM C29			
<b>DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO</b>				
<b>MASA RECIPIENTE (kg)</b>	9.8			
<b>VOLUMEN RECIPIENTE (dm<sup>3</sup>)</b>	20.568			
<b>AGREGADO</b>	<b>Agregado+R ecipient e (kg)</b>	<b>Agregado (kg)</b>	<b>Peso Unitario (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Unitario promedio (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
GRUESO	40	30.2	1.4683	1.470
	40	30.2	1.4683	
	40.1	30.3	1.4732	
FINO	46.2	36.4	1.7697	1.768
	46.2	36.4	1.7697	
	46.1	36.3	1.7649	

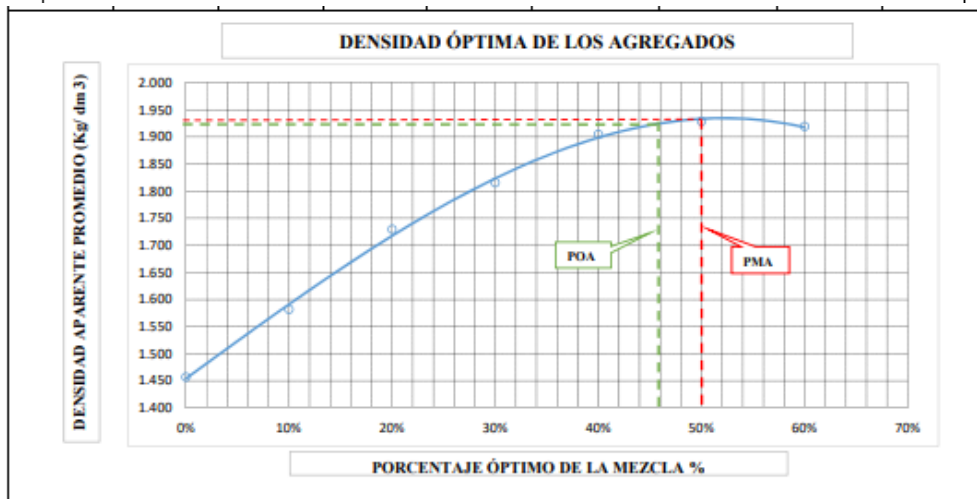


 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>ORIGEN</b>	ENKADOR S.A			
<b>ENSAYADO POR</b>	Jhojaan Villacrés	<b>FECHA</b>	17/03/2021	
<b>NORMA</b>	NTE INEN 858- ASTM C29			
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL PLÁSTICO PET				
<b>MASA RECIPIENTE (kg)</b>	9.8			
<b>VOLUMEN RECIPIENTE (dm3)</b>	20.568			
<b>AGREGADO</b>	<b>Agregado+Re cipiente (kg)</b>	<b>Agregado (kg)</b>	<b>Peso Unitario (kg/dm3)</b>	<b>Peso Unitario promedio (kg/dm3)</b>
PET	13.2	3.4	0.1653	0.167
	13.3	3.5	0.1702	
	13.2	3.4	0.1653	

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>ORIGEN</b>	ENKADOR S.A			
<b>ENSAYADO POR</b>	Jhojaan Villacrés	<b>FECHA</b>	17/03/2021	
<b>NORMA</b>	NTE INEN 858- ASTM C29			
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL PLÁSTICO PET				
<b>MASA RECIPIENTE (kg)</b>	9.8			
<b>VOLUMEN RECIPIENTE (dm3)</b>	20.568			
<b>AGREGADO</b>	<b>Agregado+R ecipiente (kg)</b>	<b>Agregado (kg)</b>	<b>Peso Unitario (kg/dm3)</b>	<b>Peso Unitario promedio (kg/dm3)</b>
PET	14	4.2	0.2042	0.206
	14	4.2	0.2042	
	14.1	4.3	0.2091	

### ANEXO 3. DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE MEZCLA



ORIGEN		CANTERAS NIETO Cod. 200982						
ENSAYADO POR		Jhojaan Villacrés		FECHA	05/04/2021			
MASA RECIPIENTE		9.8 kg		VOLUMEN RECIPIENTE		20.568 dm <sup>3</sup>		
NORMA		NTE INEN 858- ASTM C29						
<b>DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LA MEZCLA</b>								
% MEZCLA		CANTIDAD (Kg)		Fino añadido (Kg)	Agregado + Recipiente (kg)	Agregado (Kg)	Peso unitario mezcla (kg/dm <sup>3</sup> )	Peso unitario promedio
Grueso	Fino	Grueso	Fino	Fino	Agregado Fino + Grueso			
100.00%	0.00%	40.00	0.00	0.00	39.80	30.00	1.459	1.457
					39.70	29.90	1.454	
					39.80	30.00	1.459	
90.00%	10.00%	40.00	4.44	4.44	42.30	32.50	1.580	1.582
					42.40	32.60	1.585	
					42.30	32.50	1.580	
80.00%	20.00%	40.00	10.00	5.56	45.40	35.60	1.731	1.729
					45.30	35.50	1.726	
					45.40	35.60	1.731	
70.00%	30.00%	40.00	17.14	7.14	47.10	37.30	1.813	1.815
					47.20	37.40	1.818	
					47.10	37.30	1.813	
60.00%	40.00%	40.00	26.67	9.53	48.90	39.10	1.901	1.904
					49.00	39.20	1.906	
					49.00	39.20	1.906	
50.00%	50.00%	40.00	40.00	13.33	49.40	39.60	1.925	1.929
					49.50	39.70	1.930	
					49.50	39.70	1.930	
40.00%	60.00%	40.00	60.00	20.00	49.30	39.50	1.920	1.919
					49.20	39.40	1.916	
					49.30	39.50	1.920	





Porcentaje máximo de agregado fino	50 %
Porcentaje máximo de agregado grueso	50 %
Porcentaje óptimo agregado fino	46 %
Porcentaje óptimo agregado grueso	54 %
Densidad aparente máxima del agregado (mezcla)	1.929 kg/dm <sup>3</sup>
Densidad aparente óptima del agregado (mezcla)	1.914 kg/dm <sup>3</sup>

## ANEXO 4. DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>ORIGEN</b>	CANTERAS NIETO Cod. 200982			
<b>ENSAYADO POR</b>	Jhojaan Villacrés	<b>FECHA:</b>	17/03/2021	
<b>NORMA</b>	NTE INEN 856			
<b>DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b>				
<i><b>CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL</b></i>				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del picnómetro	gr	162.20	170.10
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	356.15	367.22
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS+agua	gr	779.17	788.16
M4=M3-M2	Masa de agua añadida	gr	423.02	420.94
M5	Masa picnómetro + 500 cc agua	gr	660.50	668.50
M6=M5-M1	Masa 500 cc de agua	gr	498.30	498.40
DA=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad del agua	gr/cm <sup>3</sup>	1.00	1.00
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	75.28	77.46
Msss= M2-M1	Masa del agregado	gr	193.95	197.12
Vsss= M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm <sup>3</sup>	75.54	77.71
DRA=Msss/Vsss	Densidad real de la arena	gr/cm <sup>3</sup>	2.57	2.54
DRA PROM	DENSIDAD REAL DE LA ARENA	gr/cm <sup>3</sup>	2.552	
<i><b>CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b></i>				
M7	Masa del recipiente	gr	33.40	33.50
M8	Masa del recipiente+ muestra SSS	gr	172.10	177.74
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	138.70	144.24
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	154.80	161.40
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	121.40	127.90
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	14.25%	12.78%
P2= (CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	0.14	

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>ORIGEN</b>	CANTERAS NIETO Cod. 200982			
<b>ENSAYADO POR</b>	Jhojaan Villacrés	<b>FECHA:</b>	11/03/2021	
<b>NORMA</b>	NTE INEN 856			
<b>DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</b>				
<b>CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL</b>				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa de la canastilla de aire	gr	1237	
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1077	
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	4017	
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	2786	
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	1	
M5=M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	2780	
M6=M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	1709	
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm3	1071	
DR=M5/VR	Densidad real	gr/cm3	2.596	
<b>CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b>				
M7	Masa del recipiente	gr	30.1	33.3
M8	Masa del recipiente+ muestra SSS	gr	275.2	280.9
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	245.1	247.6
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	270.9	276.5
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	240.8	243.2
CA=(M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	1.79%	1.81%
P2= (CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	1.80%	

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>ORIGEN</b>	Cemento Holcim			
<b>ENSAYADO POR</b>	Jhojaan Villacrés	<b>FECHA</b>	26/02/2021	
<b>NORMA</b>	NTE INEN 856			
<b>DENSIDAD REAL DEL CEMENTO</b>				
<b>CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL</b>				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del picnometro	gr	169.3	152
M2	Masa del picnometro + muestra	gr	215.6	211.5
M3	Masa del picnometro + muestra + gasolina	gr	570.9	563
M4= M3-M2	Masa gasolina añadida	gr	355.3	351.5
M5	Masa picnometro + 500 cc de gasolina	gr	536.7	519.2
M6	Masa de 500 cc de gasolina	gr	367.4	367.2
DG= M6/500 cm3	Densidad de la gasolina	gr/cm3	0.7348	0.7344
M7= M6-M4	Masa de la gasolina desalojada por la muestra	gr	12.1	15.7
Mc=M2-M1	Masa del cemento	gr	46.3	59.5
Vg = M7/DG	Volumen de la gasolina desalojada	cm3	16.47	21.38
DRC=Mc/Vg	Densidad real del cemento	gr/cm3	2.812	2.783
	Densidad real promedio	gr/cm3	2.797	





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL







ORIGEN	ENKADOR S.A			
ENSAYADO POR	Jhojaan Villacrés	FECHA:	25/03/2021	
NORMA	NTE INEN 856			
<b>DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL PLÁSTICO PET</b>				
<i><b>CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL</b></i>				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del picnómetro	gr	169.8	162.1
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	213.2	220.5
M3	Masa del picnómetro + muestra SSS+agua	gr	672.7	676.8
M4=M3-M2	Masa de agua añadida	gr	459.5	456.3
M5	Masa picnómetro + 500 cc agua	gr	668.5	660.4
M6=M5-M1	Masa 500 cc de agua	gr	498.7	498.3
DA=M6/500cm <sup>3</sup>	Densidad del agua	gr/cm <sup>3</sup>	0.9974	0.9966
M7=M6-M4	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	39.2	42
Msss= M2-M1	Masa del agregado	gr	43.4	58.4
Vsss= M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm <sup>3</sup>	39.3022	42.1433
DRA=Msss/Vsss	Densidad real del plástico PET	gr/cm <sup>3</sup>	1.104	1.386
DRA PROM	DENSIDAD REAL Del Plástico PET	gr/cm <sup>3</sup>	1.245	
<i><b>CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN</b></i>				
M7	Masa del recipiente	gr	31.2	32.5
M8	Masa del recipiente+ muestra SSS	gr	63.8	62.4
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	32.6	29.90
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	57.41	56.35
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	26.21	23.85
CA=((M9-M11)/M11)*100	Capacidad de absorción	%	24.38%	25.37%
P2= (CA1+CA2)/2	Capacidad de absorción promedio	%	24.87%	





## ANEXO 5. CONTENIDO DE HUMEDAD

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>ORIGEN</b>	CANTERAS NIETO Cod. 200982			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Jhojaan Villacrés	<b>FECHA:</b>	26/02/2021	
<b>NORMA</b>	NTE INEN 862			
<b>CÁLCULO DE CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO</b>				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del recipiente	gr	32.3	30.2
M2	Masa del recipiente + Agreg. húmedo	gr	199.1	209.7
M3	Masa del recipiente + Agreg. seco	gr	183.6	193
M4= M2-M3	Masa del agua	gr	15.5	16.7
M5= M3-M1	Masa del Agreg. seco	gr	151.3	162.8
C Hum = M4/M5	Contenido de humedad	%	10.24%	10.26%
C Hum Promedio	Contenido de humedad promedio	%	10.25%	

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>ORIGEN</b>	CANTERAS NIETO Cod. 200982			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Jhojaan Villacrés	<b>FECHA:</b>	26/02/2021	
<b>NORMA</b>	NTE INEN 862			
<b>CÁLCULO DE CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO</b>				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del recipiente	gr	33.5	31.8
M2	Masa del recipiente + Agreg. húmedo	gr	274	288.5
M3	Masa del recipiente + Agreg. seco	gr	267.6	282.5
M4= M2-M3	Masa del agua	gr	6.4	6
M5= M3-M1	Masa del Agreg. seco	gr	234.1	250.7
C Hum = M4/M5	Contenido de humedad	%	2.73%	2.39%
C Hum Promedio	Contenido de humedad promedio	%	2.56%	



 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>ORIGEN</b>	ENKADOR S.A			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Jhojaan Villacrés	<b>FECHA:</b>	11/03/2021	
<b>NORMA</b>	NTE INEN 862			
<b>CÁLCULO DE CONTENIDO DE HUMEDAD PLÁSTICO PET</b>				
DATOS	DESIGNACIÓN	UNIDAD	VALOR	
M1	Masa del recipiente	gr	31.4	32.3
M2	Masa del recipiente + Agreg. PET húmedo	gr	64.1	61.8
M3	Masa del recipiente + Agreg. PET seco	gr	63.8	61.5
M4= M2-M3	Masa del agua	gr	0.3	0.3
M5= M3-M1	Masa del Agreg. Pet seco	gr	32.4	29.2
C Hum = M4/M5	Contenido de humedad	%	0.93%	1.03%
C Hum Promedio	Contenido de humedad promedio	%	0.98%	

## ANEXO 6. DOSIFICACIÓN

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
<b>ORIGEN</b>	CANTERAS NIETO Cod. 200982					
<b>REALIZADO POR</b>	Jhojaan Alexander Villacrés Yépez					
<b>FECHA</b>	20/04/2021					
DATOS DE ENSAYOS			DATOS DE TABLAS			
<b>F'c</b>	210	Kg/cm <sup>2</sup>	<b>W/C</b>	0.58		
<b>Asentamiento</b>	6 - 9	cm	<b>CP(%)</b>	POV + 2% + 8%(POV)		
<b>DRC</b>	2.797	kg/dm <sup>3</sup>	CÁLCULOS			
<b>DRA</b>	2.552	kg/dm <sup>3</sup>	<b>DRM</b>	2.576 kg/dm <sup>3</sup>		
<b>DRR</b>	2.596	kg/dm <sup>3</sup>	<b>POV</b>	25.7 %		
<b>DSA</b>	1.655	kg/dm <sup>3</sup>	<b>CP</b>	297.56 dm <sup>3</sup>		
<b>DSR</b>	1.34	kg/dm <sup>3</sup>	<b>C</b>	317.4 kg		
<b>POA</b>	46	%	<b>W</b>	184.1 lt		
<b>POR</b>	54	%	<b>A</b>	824.6 kg		
<b>DOM</b>	1.914	kg/dm <sup>3</sup>	<b>R</b>	984.7 kg		
DOSIFICACIÓN AL PESO						
Material		Cantidad kg para 1m <sup>3</sup>	Dosificación al peso	Cantidad en Kg para 1 saco	Volumen aparente (dm <sup>3</sup> )	Dosificación volumen en obra (parihuela)
<b>AGUA</b>	W ( lt )	184.1	0.58	29		29
<b>CEMENTO</b>	C	317.4	1	50		1 (saco)
<b>ARENA</b>	A	824.6	2.59	129.5	78.25	3
<b>RIPIO</b>	R	984.7	3.1	155	115.67	4
NOMENCLATURA						
DRC	Densidad Real del cemento		CP(%)	Cantidad de Pasta en %		
DRA	Densidad Real de la Arena		DRM	Densidad Real de la Mezcla		
DRR	Densidad Real del Ripio		POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos		
DSA	Densidad Suelta de la Arena		CP	Cantidad de Pasta en %		
DSR	Densidad Suelta del Ripio		C	Cantidad de Cemento		
POA	Porcentaje Óptimo de la Arena		W	Cantidad de Agua		
POR	Porcentaje Óptimo del Ripio		A	Cantidad de Arena		
DOM	Densidad Óptima de la Mezcla		R	Cantidad de Ripio		

## ANEXO 7. RESULTADOS ENSAYOS A FLEXIÓN

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>							
<b>ORIGEN</b>		CANTERAS NIETO <sup>®</sup> Cod. 200982							
<b>REALIZADO POR</b>		Jhojaan Alexander Villacrés Yépez			F'c	210 kg/cm2			
<b>FECHA</b>		09/06/2021		<b>MATERIAL</b>		HOMIGÓN TRADICIONAL			
ENSAYO A FLEXIÓN									
PROBETA	CARGA MÁXIMA (P)	LUZ LIBRE (L)	ANCHO EN LA FRACTURA (b)	ALTURA EN LA FRACTURA (d)	SECCIÓN DE FALLA	DÍAS	MÓDULO DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO	MÓDULO DE ROTURA TEÓRICO
#	N	mm	mm	mm		#	MPa	MPa	Mpa
1	133890	690	462	455	Tercio medio	14	0.966	1.370	2.60
2	111730	690	345	355	Tercio medio		1.773		
3	225893	690	385	387	Tercio medio	28	2.703	2.706	2.90
4	224560	690	384	386	Tercio medio		2.708		

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>							
<b>ORIGEN</b>		CANTERAS NIETO <sup>®</sup> Cod. 200982							
<b>REALIZADO POR</b>		Jhojaan Alexander Villacrés Yépez			F'c	210 kg/cm2			
<b>FECHA</b>		09/06/2021		<b>MATERIAL</b>		VIGAS PET			
ENSAYO A FLEXIÓN									
PROBETA	PORCENTAJE	CARGA MÁXIMA (P)	LUZ LIBRE (L)	ANCHO EN LA FRACTURA (b)	ALTURA EN LA FRACTURA (d)	SECCIÓN DE FALLA	DÍAS	MÓDULO DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO
#		N	mm	mm	mm		#	MPa	MPa
1	1.50%	14220	690	380	382	Tercio medio	14	0.177	0.255
2	1.50%	13200	690	308	298	Tercio medio		0.333	
3	1.50%	155670	690	421	428	Tercio medio	28	1.393	1.469
4	1.50%	158960	690	412	415	Tercio medio		1.546	
1	2.50%	14860	690	319	308	Tercio medio	14	0.339	0.363
2	2.50%	15340	690	301	301	Tercio medio		0.388	
3	2.50%	147510	690	414	405	Tercio medio	28	1.499	1.554
4	2.50%	151450	690	410	398	Tercio medio		1.609	
1	5%	94380	690	365	356	Tercio medio	14	1.408	1.427
2	5%	93560	690	358	353	Tercio medio		1.447	
3	5%	111460	690	334	331	Tercio medio	28	2.102	2.300
4	5%	119370	690	328	317	Tercio medio		2.499	
1	7.50%	124780	690	394	401	Tercio medio	14	1.359	1.324
2	7.50%	121410	690	398	404	Tercio medio		1.290	
3	7.50%	134560	690	321	317	Tercio medio	28	2.878	3.052
4	7.50%	138400	690	312	308	Tercio medio		3.226	
1	8.50%	EXTRAPOLACIÓN				Tercio medio	14		1.501
2	8.50%	EXTRAPOLACIÓN				Tercio medio	28		3.317
1	10.00%	EXTRAPOLACIÓN				Tercio medio	14		1.510
2	10.00%	EXTRAPOLACIÓN				Tercio medio	28		3.319





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



ORIGEN		CANTERAS NIETO <sup>®</sup> Cod. 200982							
REALIZADO POR		Jhojaan Alexander Villacrés Yépez			F <sup>c</sup>		210 kg/cm <sup>2</sup>		
FECHA		09/06/2021		MATERIAL		VIGAS BAGAZO DE CAÑA			
ENSAYO A FLEXIÓN									
PROBETA	PORCENTAJE	CARGA MÁXIMA (P)	LUZ LIBRE (L)	ANCHO EN LA FRACTURA (b)	ALTURA EN LA FRACTURA (d)	SECCIÓN DE FALLA	DÍAS	MÓDULO DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO
#		N	mm	mm	mm		#	MPa	MPa
1	1.50%	116030	690	465	457	Tercio medio	14	0.824	0.819
2	1.50%	118720	690	464	466	Tercio medio		0.813	
3	1.50%	123450	690	458	452	Tercio medio	28	0.910	0.913
4	1.50%	122580	690	454	451	Tercio medio		0.916	
1	2.50%	89560	690	467	469	Tercio medio	14	0.602	0.617
2	2.50%	88570	690	461	458	Tercio medio		0.632	
3	2.50%	95740	690	455	458	Tercio medio	28	0.692	0.721
4	2.50%	97840	690	446	449	Tercio medio		0.751	
1	5%	61450	690	457	449	Tercio medio	14	0.460	0.475
2	5%	61960	690	442	444	Tercio medio		0.491	
3	5%	72450	690	435	438	Tercio medio	28	0.599	0.608
4	5%	71150	690	433	429	Tercio medio		0.616	
1	7.50%	41230	690	446	441	Tercio medio	14	0.328	0.336
2	7.50%	41147	690	439	433	Tercio medio		0.345	
3	7.50%	49950	690	397	395	Tercio medio	28	0.556	0.554
4	7.50%	47940	690	390	392	Tercio medio		0.552	

## ANEXO 8. FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE TESIS

		
<p>Realizando mezcla para comprobar la dosificación.</p>	<p>Realizando cono de Abrams para el asentamiento</p>	<p>Corrigiendo el porcentaje de agua en la mezcla.</p>
		
<p>Colocando la mezcla en el molde de viga.</p>	<p>Vibrando la mezcla en el molde para que no haya espacios vacíos</p>	<p>Enrasando el molde para evitar desbordamientos de la mezcla y ajustar sus dimensiones</p>
		
<p>Colocando el bagazo de caña en la mezcla.</p>	<p>Curando las vigas</p>	<p>Ensayando a flexión.</p>