

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE: INGENIERÍA CIVIL



Diseño de Hormigón  $f_c=300 \text{ kg/cm}^2$  utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña en estado natural para el uso en pavimento rígido.

**Autores:**

CHRISTOPHER CAPELO SALAZAR

PAUL MOLINA ROMÁN

**Tutor:**

INGENIERO LAURO ARMANDO LARA CARRERA

Trabajo previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil

QUITO DM, ABRIL DE 2022

## **DEDICATORIA**

*Dedico a mi familia que son mi motivo para seguir adelante, a mi padre Fabián Molina que con su sabiduría me guio en todo momento, a mi madre Rosmeri Román que con todo su amor y esfuerzo fue un soporte en cada etapa de mi vida, ya que juntos forjaron a la persona que soy y gracias a su entrega he podido lograr distintos objetivos en mi vida.*

*A mi hermana, Lisseth Molina, que siempre estuvo conmigo con su cariño, consejo y apoyo, también a mis abuelitos, Rosario y Neptalí, que con toda su dulzura y amor me guiaron desde pequeño y lucharon junto a mí en todo momento. También a mis abuelitos y tío que están en el cielo, Custodia, Tobías y Diego, que desde allí me envían toda su fuerza para guiarme en el camino profesional.*

*A mis tíos y primos que siempre han estado para darme su consejo y apoyarme en todo momento.*

*A todos mis amigos de la universidad, del colegio y de la vida con quienes he compartido momentos inolvidables, siempre aconsejándome y dándome apoyo para lograr todo.*

*A mis profesores que gracias a su conocimiento me ayudaron a crecer en esta carrera.*

*Gracias a todos ustedes por su amor incondicional, puesto que con todo su cariño logré cumplir esta meta.*

***Atentamente: Paúl Fabián Molina Román.***

*A Dios y a la Virgen Dolorosa por bendecirme y cuidarme en el camino,  
a mi padre, Gustavo Capelo (+) Ingeniero Civil, por mostrarme el camino con su ejemplo,  
a mi madre, Consuelo Salazar por permitirme recorrerlo con su esfuerzo y cariño,  
a mi hermana Doménica Capelo por ser mi apoyo constante y mi motivación diaria,  
a mis abuelos Gloria, Gilberto y Guillermo por su sabiduría, bendición y consejo,  
a mi mentor, consejero y fiel amigo Jorge Arauz por su lealtad y cariño,  
a Erika, Selene y Nicolas por abrazarme con su compañía en los momentos más difíciles,  
a mis amigos y compañeros, Giovanna Cortez, Mikaela Merlo, Andrea Morales, Mariela  
Anaguano, Jorge Mayanquer y Marcela López, por hacer más amenas las batallas y los  
desafíos que superamos juntos en este invaluable e irreplicable caminar,  
Finalmente, a mis hermanos de otra madre, Camila Haro, Sebastian Almeida, Bernardo  
Medina, Luis Yáñez, Andrés Castro, Jorge Vega, Josué Celi, Danny Caicedo, Dennis  
Cevallos y Melani Zambrano (+), con ustedes los sueños siempre se han sentido más cerca,  
gracias por animarme e invitarme a creer que todo es posible.*

***Atentamente: Christopher Alejandro Capelo Salazar***

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por esta maravillosa oportunidad, a toda mi querida familia ya que sin ellos no hubiera logrado todo lo que soy.*

*Les agradezco a todos los ingenieros de la Escuela de Ingeniería Civil de la PUCE, por compartirme todos sus conocimientos, especialmente a mi tutor Ing. Lauro Lara quién me ha guiado hasta el final para lograr esta meta.*

*A nuestros correctores Ing. Gustavo Yáñez e Ing. Patricio Castro, por su ayuda y confianza.*

*A mi amigo incondicional y compañero de disertación, Christopher Capelo, con quien comparto esta experiencia y he compartido momentos desde el inicio de la carrera universitaria, gracias por todo tu apoyo.*

*A mi amiga, Mariela Anaguano, quien me acompañó en los momentos más difíciles y me ayudó con su consejo le agradezco por todo su cariño.*

*A mis amigos de la universidad con los que he aprendido y estudiado constantemente, con quienes compartí momentos inolvidables, apoyándonos y motivándonos unos a otros. Juntos convivimos cinco años de vida universitaria.*

*Finalmente, a todos mis amigos que la vida ha puesto en mi camino, quienes han estado conmigo a lo largo de estos años.*

***Atentamente: Paúl Fabián Molina Román.***

*A mi compañero Paúl Molina y a mi tutor Ing. Lauro Armando Lara, por ser un excelente grupo de trabajo y por los excelentes momentos y risas que nos dejó este valioso azar del destino,*

*al Ing. José Alvarado por su genuina y desmedida generosidad al financiar este trabajo de disertación, al personal del Laboratorio de Materiales de la PUCE con especial mención a Paúl, José, Patricio y “Gabica”, a la empresa “Ingenio Azucarero del Norte Compañía de Economía mixta IANCEN” por la apertura a sus instalaciones y la donación del bagazo de caña.*

***Atentamente: Christopher Alejandro Capelo Salazar***

## **RESUMEN**

El presente trabajo de disertación consiste en la adición de fibra de bagazo de caña en estado natural a la mezcla de un hormigón con una resistencia  $f'_c=300 \text{ kg/cm}^2$ , para analizar su influencia mediante ensayos de compresión simple, flexión en vigas, tracción indirecta “método brasileño” y módulo de elasticidad, determinando de esta manera si la fibra en estudio puede ser usada o no en la elaboración de concreto, para mejorar sus propiedades mecánicas.

Se realizó la caracterización de los agregados tanto finos como gruesos, provenientes de la mina de San José de Pifo, perteneciente a Holcim Ecuador, y del cemento marca Holcim tipo GU, para conocer sus propiedades físicas y realizar la dosificación correctamente.

Una vez obtenida la resistencia de  $300 \text{ kg/cm}^2$  se procede a adicionar en la mezcla de hormigón la fibra en 1, 3, 5 y 6 por ciento respecto al peso del cemento, para realizar los cilindros y las viguetas mediante los cuales se obtienen los resultados necesarios para determinar la influencia de la fibra.

## **ABSTRACT**

The present dissertation work consists of the addition of sugarcane bagasse fiber in its natural state to the mixture of a concrete with a resistance  $f'_c=300 \text{ kg/cm}^2$ , to analyze its influence through simple compression tests, bending in beams, indirect traction "Brazilian method" and modulus of elasticity, thus determining whether the fiber under study can be used or not in the production of concrete, to improve its mechanical properties.

The characterization of both, fine and coarse aggregates, from the San José de Pifo mine, belonging to Holcim Ecuador, and Holcim type GU cement, was carried out in order to know their physical properties and perform the dosage correctly.

Once the resistance of  $300 \text{ kg/cm}^2$  is obtained, the fiber is added to the concrete mixture in 1, 3, 5 and 6 percent with respect to the weight of the cement, to make the cylinders and the beams through which the necessary results to determine the influence of the fiber are obtained.

## TABLA DE CONTENIDOS

1. .... CAPÍTULO I: GENERALIDADES .....	1
1.1.. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2.. ALCANCE.....	1
1.3.. OBJETIVOS .....	2
1.3.1.    Objetivo General.....	2
1.3.2.    Objetivo Específico .....	2
1.4.. ANTECEDENTES .....	2
1.5.. METODOLOGÍA.....	3
1.5.1.    Metodología de investigación experimental.....	3
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	5
2.1. MARCO TEORICO.....	5
2.1.1. Hormigón .....	5
2.1.2. Componentes del Hormigón .....	5
2.1.2.1. Cemento .....	5
2.1.2.2. Áridos o Agregados .....	7
2.1.2.3. Agua.....	8
2.1.3. Propiedades Mecánicas del Hormigón.....	10
2.1.3.1. Módulo de elasticidad .....	10
2.1.3.1.1 Módulo de elasticidad según el código ACI.....	10
2.1.3.2. Resistencia a la compresión .....	11
2.1.3.3. Módulo de Poisson.....	12
2.1.3.4. Contracción .....	12
2.1.3.5. Fluencia plástica.....	13
2.1.3.6. Resistencia a la tensión .....	13
2.1.4. Hormigón Armado .....	14
2.1.5. Pavimento Rígido.....	15
2.1.5.1 Tipos de Pavimento Rígido.....	15
2.1.5.1.1 Pavimento rígido no reforzado.....	16
2.1.5.1.2 Pavimento rígido reforzado.....	16
2.1.6. Fibras Naturales en el Hormigón .....	16
2.2. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS.....	17
2.2.1. Granulometría .....	17
2.2.2. Peso Unitario de los Agregados .....	19
2.2.2.1. Peso Unitario Suelto .....	20

2.2.2.2. Peso Unitario Compacto .....	20
2.2.3. Contenido de Humedad Natural.....	21
2.2.4. Gravedad Específica .....	22
2.2.4.1. Gravedad Específica (Agregado Fino).....	23
2.2.4.2. Gravedad Especifica (Agregado Grueso) .....	23
2.2.5. Absorción de los Agregados .....	25
2.2.6. Terrones de Arcilla .....	25
2.2.7. Material que pasa el tamiz #200 (Agregado Fino).....	26
2.2.8. Equivalencia de Arena .....	27
2.2.9. Contenido de Material Orgánico (Agregado Fino).....	28
2.2.10. Desgaste a los Sulfatos.....	28
2.2.11. Desgaste del Agregado Grueso en la máquina de los ángeles. ....	29
2.3. ENSAYOS DE CEMENTO .....	31
2.3.1. Finura del cemento.....	31
2.3.2. Tiempo de fraguado por el método Vicat .....	33
2.3.3. Gravedad especifica del cemento.....	34
2.3.4. Esfuerzo de Compresión de morteros de cemento.....	36
2.4. CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA .....	37
2.4.1. Fibra de Bagazo de Caña de Azúcar .....	37
2.4.1.1. Localización de la Fibra de Bagazo de Caña de Azúcar.....	37
2.4.1.2. Proceso de obtención de la Fibra de Bagazo de Caña de Azúcar .....	39
2.4.2. Caracterización de la Fibra de Bagazo de Caña de Azúcar .....	39
2.4.3. Proceso para la Dosificación con Fibra de Bagazo de Caña de Azúcar .....	40
2.5. ENSAYOS DE RESISTENCIA .....	43
2.5.1. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón.....	43
2.5.2. Determinación de la resistencia a la flexión .....	45
2.5.3. Determinación del Módulo de Elasticidad.....	47
2.5.4. Determinación de la Resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de hormigón.....	49
2.6. DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN .....	52
2.6.1. Elección del Asentamiento .....	52
2.6.2. Elección del tamaño máximo del agregado .....	52
2.6.3. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire .....	53
2.6.4. Elección de la relación AGUA/CEMENTO (A/C).....	54

2.6.4.1. Por Resistencia.....	54
2.6.4.2. Resistencia de Diseño .....	54
2.6.5. Contenido de cemento.....	55
2.6.6. Cantidad de agregado grueso y agregado fino.....	55
2.6.6.1. Peso Unitario del Hormigón (UM) .....	55
2.6.6.2. Agrega en Estado S.S.S .....	55
2.6.6.3. Agregado en Estado Natural .....	56
2.6.7. Agua de Mezcla .....	56
3. CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	57
3.1. Ensayos Agregado fino .....	57
3.1.1. Granulometría .....	57
3.1.2. Peso Unitario.....	58
Peso unitario agregado fino suelto.....	59
3.1.3. Contenido de Humedad.....	60
3.1.4. Gravedad específica y absorción .....	61
Gravedad Específica Bulk.....	61
Gravedad específica saturada con superficie seca .....	61
Gravedad específica aparente .....	62
Porcentaje de absorción .....	62
3.1.5. Terrones de Arcilla .....	63
3.1.6. Material que pase el tamiz #200 .....	63
3.1.7. Equivalente de arena .....	64
3.1.8. Contenido de material orgánico .....	65
3.1.9. Desgaste a la acción de los sulfatos .....	65
Porcentaje retenido parcial.....	65
Porcentaje pasante.....	66
Porcentaje de Desgaste Parcial .....	66
Porcentaje de Desgaste Total .....	66
3.2. Ensayos agregados grueso .....	68
3.2.1. Granulometría .....	68
3.2.2. Peso Unitario.....	69
Peso unitario agregado grueso compactado.....	69
Peso unitario agregado grueso suelto.....	70
3.2.3. Contenido de humedad natural .....	71
3.2.4. Gravedad Específica .....	72

Gravedad específica y absorción del agregado grueso. ....	72
Gravedad específica Bulk. ....	72
Gravedad específica saturada con superficie seca. ....	72
Gravedad específica aparente. ....	72
Porcentaje de Absorción. ....	73
3.2.5. Terrones de Arcilla .....	73
Terrones de arcilla en agregado grueso. ....	73
3.2.6. Desgaste del agregado en la máquina de los ángeles.....	74
3.2.7. Desgaste a los sulfatos .....	75
Desgaste del agregado grueso a los sulfatos. ....	75
3.3. Ensayo Cemento .....	77
3.3.1. Finura del cemento.....	77
3.3.2. Tiempo de fraguado .....	78
3.3.3. Gravedad específica del cemento.....	80
3.3.4. Compresión de morteros .....	81
3.4. Determinación del Diseño de Hormigón .....	83
3.5. Ensayos de Hormigón .....	84
3.5.1. Determinación de la relación agua/cemento .....	84
3.5.2. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos .....	88
3.5.3. Determinación de la resistencia a la tracción por flexión .....	94
3.4.4. Determinación de la Resistencia del Módulo de Elasticidad.....	100
3.5.5. Determinación de la Resistencia a la tracción de especímenes cilíndricos de hormigón .....	122
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN .....	128
4.1. ANÁLISIS MEZCLA FRESCA DE HORMIGÓN .....	128
4.2. ANÁLISIS DE LOS CILINDROS Y VIGAS A LOS 28 DIAS .....	128
4.3. RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE.....	129
4.4. RESULTADOS DE ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD .....	130
4.5. RESULTADOS DE ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS .....	131
4.6. RESULTADOS DE ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA “MÉTODO BRASILEIRO” .....	131
5. CONCLUSIONES .....	133
6. RECOMENDACIONES.....	141
7. COMENTARIOS.....	142
7. BIBLIOGRAFÍA .....	143

8. ANEXOS .....	146
-----------------	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación de Cementos.....	6
Tabla 2.2. Ensayo de Agregados.....	7
Tabla 2.3. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción. ....	52
Tabla 2.4. Agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado. ....	53
Tabla 2.5. Relación agua/cemento y Resistencia a la compresión del hormigón. ....	54
Tabla 3.1. Granulometría Agregado Fino .....	57
Tabla 3.2. Peso unitario compactado del agregado fino .....	59
Tabla 3.3. Peso Unitario Suelto del Agregado Fino .....	60
Tabla 3.4. Contenido de humedad agregado fino .....	61
Tabla 3.5. Gravedad Específica y Absorción (agregado fino).....	62
Tabla 3.6. Terrones de Arcilla (Agregado Fino).....	63
Tabla 3.7. Material Fino que Pasa el Tamiz #200 .....	64
Tabla 3.8. Equivalente de Arena.....	65
Tabla 3.9. Desgaste a los Sulfatos (Agregado Fino).....	67
Tabla 3.10. Granulometría Agregado Grueso .....	68
Tabla 3.11. Peso Unitario Compactado (agregado grueso) .....	70
Tabla 3.12. Peso Unitario Suelto (agregado grueso) .....	71
Tabla 3.13. Contenido de Humedad (agregado grueso).....	72
Tabla 3.14. Gravedad Específica y Absorción (agregado grueso).....	73
Tabla 3.15. Terrones de Arcilla en los Agregados Naturales (agregado grueso) .....	74
Tabla 3.16. Desgaste Agregado Grueso en la Máquina de los Ángeles .....	75
Tabla 3.17. Desgaste a los Sulfatos Agregado Grueso .....	77
Tabla 3.18. Finura Blaine del cemento .....	78
Tabla 3.19. Tiempo Inicial de Fraguado Método Vicat .....	79
Tabla 3.20. Tiempo de Fraguado Método Vicat .....	80
Tabla 3.21. Gravedad Específica del Cemento .....	81
Tabla 3.22. Compresión de Morteros.....	82
Tabla 3.23. Características de los Materiales para la Dosificación. ....	83
Tabla 3.24. Dosificación para una relación agua/cemento de 0.45.....	84
Tabla 3.25. Dosificación para una relación agua/cemento de 0.4.....	85

Tabla 3.26.	Dosificación para una relación agua/cemento de 0.37.....	86
Tabla 3.27.	Resultados de compresión simple de dosificación con el 0% de fibra .....	88
Tabla 3.28.	Resultados de compresión simple de dosificación con el 1% de fibra .....	89
Tabla 3.29.	Resultados de compresión simple de dosificación con el 3% de fibra .....	90
Tabla 3.30.	Resultados de compresión simple de dosificación con el 5% de fibra .....	91
Tabla 3.31.	Resultados de compresión simple de dosificación con el 6% de la fibra .....	92
Tabla 3.32.	Resultados de tracción por flexión de dosificación con el 0% de la fibra .....	94
Tabla 3.33.	Resultados de tracción por flexión de dosificación con el 1% de la fibra .....	95
Tabla 3.34.	Resultados de tracción por flexión de dosificación con el 3% de la fibra .....	96
Tabla 3.35.	Resultados de tracción por flexión de dosificación con el 5% de la fibra .....	97
Tabla 3.36.	Resultados de tracción por flexión de dosificación con el 6% de la fibra .....	98
Tabla 3.37.	Datos de ensayo de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 0% de fibra de bagazo de caña. ....	100
Tabla 3.38.	Resultados de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 0% de la fibra. .	103
Tabla 3.39.	Datos de ensayo de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 1% de fibra de bagazo de caña. ....	104
Tabla 3.40.	Resultados de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 1% de la fibra. .	107
Tabla 3.41.	Datos de ensayo de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 3% de fibra de bagazo de caña. ....	108
Tabla 3.42.	Resultados de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 3% de la fibra. .	111
Tabla 3.43.	Datos de ensayo de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 5% de fibra de bagazo de caña. ....	112
Tabla 3.44.	Resultados de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 5% de la fibra. .	115
Tabla 3.45.	Datos de ensayo de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 6% de fibra de bagazo de caña. ....	116
Tabla 3.46.	Resultados de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 6% de la fibra. .	119
Tabla 3.47.	Resultados de tracción (método brasileiro) de dosificación con el 0% de la fibra de bagazo de caña. ....	122
Tabla 3.48.	Resultados de tracción (método brasileiro) de dosificación con el 1% de la fibra de bagazo de caña. ....	123
Tabla 3.49.	Resultados de tracción (método brasileiro) de dosificación con el 3% de la fibra de bagazo de caña. ....	124
Tabla 3.50.	Resultados de tracción (método brasileiro) de dosificación con el 5% de la fibra de bagazo de caña. ....	125
Tabla 3.51.	Resultados de tracción (método brasileiro) de dosificación con el 6% de la fibra de bagazo de caña. ....	126
Tabla 4.1.	Resumen de resultados de ensayo de compresión simple.....	129

Tabla 4.2.	Resumen de resultados de ensayo de módulo de elasticidad. ....	130
Tabla 4.3.	Resumen de valores $\alpha$ del Módulo de Elasticidad. ....	130
Tabla 4.4.	Resumen de resultados de ensayo de flexión en vigas .....	131
Tabla 4.5.	Resumen de resultados de ensayo de tracción “Método Brasileiro” .....	132
Tabla 5.1.	Resumen ensayos agregado fino. ....	133
Tabla 5.2.	Resumen ensayos agregado grueso. ....	134
Tabla 5.3.	Resumen ensayos de cemento. ....	134
Tabla 5.4.	Comparación en porcentaje de tracción por flexión y método brasileiro, con compresión simple. ....	139
Tabla 8.1.	Deformaciones del cilindro número 1 con 0% de fibra. ....	146
Tabla 8.2.	Deformaciones del cilindro número 2 con 0% de fibra. ....	147
Tabla 8.3.	Deformaciones del cilindro número 3 con 0% de fibra. ....	148
Tabla 8.4.	Deformaciones del cilindro número 1 con 1% de fibra. ....	149
Tabla 8.5.	Deformaciones del cilindro número 2 con 1% de fibra. ....	150
Tabla 8.6.	Deformaciones del cilindro número 3 con 1% de fibra. ....	151
Tabla 8.7.	Deformaciones del cilindro número 1 con 3% de fibra. ....	152
Tabla 8.8.	Deformaciones del cilindro número 2 con 3% de fibra. ....	153
Tabla 8.9.	Deformaciones del cilindro número 3 con 3% de fibra. ....	154
Tabla 8.10.	Deformaciones del cilindro número 1 con 5% de fibra .....	155
Tabla 8.11.	Deformaciones del cilindro número 2 con 5% de fibra .....	156
Tabla 8.12.	Deformaciones del cilindro número 3 con 5% de fibra .....	157
Tabla 8.13.	Deformaciones del cilindro número 1 con 6% de fibra .....	158
Tabla 8.14.	Deformaciones del cilindro número 2 con 6% de fibra. ....	159
Tabla 8.15.	Deformaciones del cilindro número 3 con 6% de fibra. ....	160

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1.</i> Serie de Tamices para granulometría de agregado fino.....	17
<i>Figura 2.2.</i> Colocación de muestra de agregado fino.....	18
<i>Figura 2.3.</i> Tamizadora Mecánica.....	18
<i>Figura 2.4.</i> Serie de tamices y tamizadora mecánica para agregado grueso. ....	19
<i>Figura 2.5.</i> Muestra de agregado grueso separada por tamaños.....	19
<i>Figura 2.6.</i> Peso unitario suelto agregado fino.....	20
<i>Figura 2.7.</i> Peso Unitario compacto de agregado fino. ....	21
<i>Figura 2.8.</i> Muestra húmeda de agregado fino.....	22
<i>Figura 2.9.</i> Muestra seca agregado grueso. ....	22
<i>Figura 2.10.</i> Saturación de muestra de agregado fino y grueso. ....	23
<i>Figura 2.11.</i> Muestra de agregado grueso saturado.....	24
<i>Figura 2.12.</i> Muestra agregado grueso saturado con superficie seca. ....	24
<i>Figura 2.13.</i> Canastilla para tomar peso sumergido de agregado grueso.....	24
<i>Figura 2.14.</i> Agregado grueso sumergido. ....	25
<i>Figura 2.15.</i> Humedecimiento de agregado grueso para ablandar terrones de arcilla. ....	26
<i>Figura 2.16.</i> Remoción de terrones de arcilla con yemas de los dedos. ....	26
<i>Figura 2.17.</i> Probeta de ensayo de equivalente de arena.....	27
<i>Figura 2.18.</i> Disco de colores normalizado para determinar el contenido orgánico. ....	28
<i>Figura 2.19.</i> Muestras de agregados sumergidos en sulfato.....	29
<i>Figura 2.20.</i> Remoción de sulfato a muestra de agregado. ....	29
<i>Figura 2.21.</i> Máquina de tambor rotatoria para ensayo de desgaste de agregado grueso. ....	30
<i>Figura 2.22.</i> Muestra de agregado grueso con rulimanes dentro de la máquina de los ángeles. .....	30
<i>Figura 2.23.</i> Equipos necesarios para la realización del ensayo de finura del cemento.....	31
<i>Figura 2.24.</i> Colocación de papel filtro en celda de permeabilidad mediante un émbolo. ....	32
<i>Figura 2.25.</i> Colocación de muestra de cemento en celda de permeabilidad.....	32
<i>Figura 2.26.</i> Ensayo de finura del cemento por el método Blaine. ....	33
<i>Figura 2.27.</i> Ensayo de tiempo de fraguado por el método de Vicat. ....	34
<i>Figura 2.28.</i> Colocación de muestra de cemento en frasco Le Chatelier. ....	35
<i>Figura 2.29.</i> Ensayo gravedad específica del cemento.....	35
<i>Figura 2.30.</i> Colocación de mortero fresco en molde cúbico.....	36
<i>Figura 2.31.</i> Compresión de mortero de cemento. ....	37
<i>Figura 2.32.</i> Plantación de Caña de azúcar, Ingenio Tababuela. ....	38
<i>Figura 2.33.</i> Bagazo de caña en la planta de procesamiento del Ingenio azucarero de Tababuela. .....	38
<i>Figura 2.34.</i> Bagazo de caña previo al proceso de tamizado. ....	38
<i>Figura 2.35.</i> Proceso de tamizaje del bagazo de caña por el tamiz número 16.....	39
<i>Figura 2.36.</i> Longitud de las fibras de bagazo de caña. ....	40
<i>Figura 2.37.</i> Mezcla fresca de hormigón con fibras de bagazo de caña.....	41
<i>Figura 2.38.</i> Distribución del 1% de fibra de bagazo de caña respecto al peso del cemento en el hormigón. ....	41
<i>Figura 2.39.</i> Distribución del 3% de fibra de bagazo de caña respecto al peso del cemento en el hormigón. ....	42

<i>Figura 2.40.</i> Distribución del 5% de fibra de bagazo de caña respecto al peso del cemento en el hormigón.....	42
<i>Figura 2.41.</i> Distribución del 6% de fibra de bagazo de caña respecto al peso del cemento en el hormigón.....	43
<i>Figura 2.42.</i> Ensayo de compresión simple.....	44
<i>Figura 2.43.</i> Falla en el cilindro de hormigón después del ensayo de compresión simple. ....	45
<i>Figura 2.44.</i> Ensayo de resistencia a flexión en vigas.....	47
<i>Figura 2.45.</i> Falla producida en el tercio medio de la viga. ....	47
<i>Figura 2.46.</i> Ensayo de módulo de elasticidad en una probeta cilíndrica de .....	49
<i>Figura 2.47.</i> Ensayo de tracción indirecta, método brasilero. ....	51
<i>Figura 2.48.</i> Falla producida en el cilindro de hormigón por el ensayo de tracción indirecta. ....	51
<i>Figura 3.1.</i> Granulometría agregado fino. ....	58
<i>Figura 3.2.</i> Granulometría agregado grueso.....	69
<i>Figura 3.3.</i> Determinación de relación agua cemento.....	87
<i>Figura 3. 4.</i> Resultados ensayo de compresión simple.....	93
<i>Figura 3. 5.</i> Resultados ensayo de flexión en vigas. ....	99
<i>Figura 3. 6.</i> Esfuerzo versus deformación, cilindro 1 con 0% de fibra. ....	101
<i>Figura 3. 7.</i> Esfuerzo versus deformación, cilindro 2 con 0% de fibra.....	102
<i>Figura 3. 8.</i> Esfuerzo versus deformación, cilindro 3 con 0% de fibra. ....	103
<i>Figura 3. 9.</i> Esfuerzo versus deformación, cilindro 1 con 1% de fibra.....	105
<i>Figura 3. 10.</i> Esfuerzo versus deformación, cilindro 2 con 1% de fibra. ....	106
<i>Figura 3. 11.</i> Esfuerzo versus deformación, cilindro 3 con 1% de fibra. ....	107
<i>Figura 3. 12.</i> Esfuerzo versus deformación, cilindro 1 con 3% de fibra. ....	109
<i>Figura 3. 13.</i> Esfuerzo versus deformación, cilindro 2 con 3% de fibra. ....	110
<i>Figura 3. 14.</i> Esfuerzo versus deformación, cilindro 3 con 3% de fibra. ....	111
<i>Figura 3. 15.</i> Esfuerzo versus deformación, cilindro 1 con 5% de fibra. ....	113
<i>Figura 3. 16.</i> Esfuerzo versus deformación, cilindro 2 con 5% de fibra. ....	114
<i>Figura 3. 17.</i> Esfuerzo versus deformación, cilindro 3 con 5% de fibra. ....	115
<i>Figura 3. 18.</i> Esfuerzo versus deformación, cilindro 1 con 6% de fibra. ....	117
<i>Figura 3. 19.</i> Esfuerzo versus deformación, cilindro 2 con 6% de fibra. ....	118
<i>Figura 3. 20.</i> Esfuerzo versus deformación, cilindro 3 con 6% de fibra. ....	119
<i>Figura 3. 21.</i> Resultados del ensayo de Módulo de Elasticidad.....	120
<i>Figura 3. 22.</i> Gráfica de valores de $\alpha$ del Módulo de Elasticidad. ....	120
<i>Figura 3. 23.</i> Gráfica de valores de $Y$ del Módulo de Elasticidad .....	121
<i>Figura 3. 24.</i> Resultados de ensayo brasilero .....	127
<i>Figura 4. 1.</i> Decremento porcentual ensayo brasilero .....	132
<i>Figura 5. 1.</i> Porcentaje de decremento en ensayo de compresión simple .....	136
<i>Figura 5. 2.</i> Porcentaje de decremento en flexión en vigas.....	137
<i>Figura 5. 3.</i> Porcentaje de tracción respecto a la compresión. ....	140

# **1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

## **1.1. INTRODUCCIÓN**

Frente a la posibilidad de formación de fisuras en el hormigón, se considera que el uso de fibras tanto naturales como artificiales, sería una opción viable para combatir este problema, por lo que, el buen manejo de residuos se toma en cuenta el uso de la fibra vegetal que resulta del procesamiento de la caña de azúcar, denominada “bagazo de caña”, como un componente más en la conformación del hormigón para uso en pavimento rígido.

Para comprobar el posible beneficio que nos brindara la adición de fibras de bagazo de caña en estado natural a un hormigón  $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$ , se realizaron una serie de ensayos de laboratorio necesarios para caracterizar las propiedades de los agregados tanto finos como gruesos y cemento, cuyos resultados fueron utilizados para realizar el diseño de la dosificación requerida, para posteriormente elaborar muestras de cilindros y viguetas que fueron ensayadas a compresión y flexión respectivamente.

Se espera que la adición de fibras de bagazo de caña a los especímenes de hormigón a ser ensayados, incremente la resistencia a la flexión y compresión, ayudando a disminuir la formación de grietas en las viguetas y cilindros, evidenciando así la utilidad de la fibra previamente mencionada.

## **1.2. ALCANCE**

Este tema de disertación busca analizar la influencia de las fibras de bagazo de caña en estado natural, tanto en la resistencia a la flexión y compresión del hormigón, destinado a ser utilizado como pavimento rígido.

Con el fin de verificar dicha influencia, se procederá a diseñar la dosificación de un hormigón  $f'c=300\text{kg/cm}^2$ , cuyos materiales y agregados serán debidamente estudiados, mediante ensayos de laboratorio correspondientes, a su vez obteniendo valores característicos que servirán para realizar el diseño, se procederá a dosificar cilindros y viguetas con una adición del 0%, 1%, 3%, 5% y 6% de fibras de bagazo de caña en estado natural, con respecto al peso del cemento de la dosificación, los cuales serán sometidos a ensayos de resistencia a compresión simple, tracción indirecta y flexión, respectivamente, para obtener los resultados

necesarios, que posteriormente nos permitan realizar un análisis de la influencia de dicha fibra.

De este procedimiento experimental, se busca que el análisis de resultados refleje si el uso de las fibras de bagazo de caña en estado natural es beneficioso o no, para las características mecánicas del hormigón, de manera que intervengan en sus propiedades al ser utilizado en un pavimento rígido.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo General**

- Analizar la influencia de la adición de fibras de bagazo de caña en estado natural, en un hormigón destinado al uso como pavimento rígido con una resistencia  $f'c$  de  $300\text{kg/cm}^2$ .

#### **1.3.2. Objetivo Específico**

- Evaluar si la adición de fibras de bagazo de caña es una práctica beneficiosa, ante el agrietamiento producto de la flexión en el elemento de hormigón.
- Realizar una comparativa del comportamiento de un hormigón con contenido de fibra de bagazo de caña, frente a uno que no incluye dicha fibra.
- Realizar la dosificación del hormigón con el 0%, 1%, 3% 5% 6% de fibra de bagazo de caña en estado natural, respecto al peso del cemento de la mezcla.

### **1.4. ANTECEDENTES**

El uso de pavimentos rígidos en el Ecuador con el pasar de los años, ha sido más frecuente, su característica principal es una vida útil mayor a la de un pavimento flexible. El pavimento rígido presenta distintas fallas que desembocan en fisuras en las losas que lo conforma, por lo cual se evidencia en su baja resistencia a flexión respecto a la de compresión.

En busca de mejorar la resistencia a la flexión del hormigón, en este trabajo se plantea el empleo de fibra de bagazo de caña en estado natural, que tendrá como objetivo principal el

análisis de su influencia como un material adicional, cuyo uso resulta amigable con el medio ambiente.

La necesidad de facilitar la vida al ser humano sugiere realizar nuevas investigaciones en los ámbitos de la ingeniería vial. La construcción vial es una de las principales ramas de la ingeniería civil, que busca garantizar que los caminos y vías perduren en el tiempo, que requieran un mantenimiento mínimo presentando una buena resistencia ante las posibles fallas que puedan presentarse en la calzada; para cumplir este objetivo, la ingeniería civil enfocada en vías y caminos se mantiene en constante investigación buscando los correctos materiales que puedan aportar de manera importante a la resistencia de los pavimentos, tomando en cuenta el uso de materiales reciclados, cuya utilización resulte beneficiosa para el cuidado del medio ambiente y las propiedades mecánicas de mismo.

En este caso, se realizará el diseño de un hormigón con una resistencia de  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ , el cual será adicionado fibras naturales de bagazo de caña, buscando mejorar sus propiedades mecánicas.

## **1.5. METODOLOGÍA**

### **1.5.1. Metodología de investigación experimental.**

Este trabajo de disertación se realizó de manera experimental, haciendo uso de las instalaciones del laboratorio de hormigones de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, siguiendo de manera rigurosa las normativas INEN, AASHTO y ASTM, que son requeridas para ejecutar los ensayos de los materiales que conforman el hormigón, así como también de los cilindros y viguetas realizados con el mismo.

Una vez obtenidas las características del cemento y de los agregados, tanto finos como gruesos, mediante los ensayos respectivos de laboratorio, se procedió a realizar la dosificación de un hormigón con una resistencia característica esperada de  $300 \text{ kg/cm}^2$ ; a la cual se adicionó el 0%, 1%, 3%, 5% y 6% de fibras de bagazo de caña en estado natural, con respecto al peso del cemento de la mezcla de hormigón.

Posteriormente se prepararon nueve cilindros y cuatro viguetas de hormigón para cada dosificación, con el respectivo porcentaje de adición de fibras de bagazo de caña en estado natural, tomando en cuenta una de ellas no se utilizó dichas fibras; dando como resultado un

tamaño muestral de sesenta y cinco especímenes de hormigón a ensayarse, tanto a flexión como a compresión simple, módulo de elasticidad y ensayo de tracción indirecta “método brasileño”.

Finalmente, se analizaron los resultados obtenidos para llegar a las conclusiones y recomendaciones necesarias, en función de los objetivos que se abordaron al inicio de este trabajo de disertación.

## **2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **2.1. MARCO TEORICO**

#### **2.1.1. Hormigón**

El hormigón es un material artificial de construcción, que se encuentra conformado por tres elementos principales: cemento, agua y agregados, dentro de los cuales se tiene, el agregado grueso (grava) y el agregado fino (arena). Dichos componentes se mezclan para crear una masa semejante a una roca.

El hormigón al estar conformado de arena, ripio, cemento y agua es claro que su calidad estará directamente ligada a la calidad de sus componentes y su resistencia variará según la proporción utilizada de los mismos en la mezcla total.

Entre las características que resaltan en este material, es su alta resistencia a los esfuerzos de compresión, no obstante, su desempeño es escaso cuando es sometido a esfuerzos de tracción (aproximadamente un 10% de su resistencia a los esfuerzos de compresión), es por esto que con la adición de varillas de acero corrugada y fibras, se logra obtener un comportamiento satisfactorio a los diferentes esfuerzos, dando origen a lo que se conoce como hormigón armado (McCormac & Brown, 2011).

#### **2.1.2. Componentes del Hormigón**

##### *2.1.2.1. Cemento*

El cemento es un material aglomerante compuesto principalmente de rocas calizas, areniscas y arcillas calcinadas, de las cuales se obtiene un polvo fino que, junto con el agua, reaccionan químicamente iniciando un proceso de fraguado y posteriormente de endurecimiento.

Las características principales del cemento son sus propiedades de cohesión y adherencia que le brindan la capacidad para aglutinar tanto a los agregados finos como gruesos que componen el hormigón simple y también al acero de refuerzo cuando se trata de hormigón armado.

El cemento se clasifica en tres grupos: Portland, hidráulicos según su desempeño e hidráulicos adicionados según su composición; donde cada grupo tiene su subclasificación como se muestra en la tabla:

Tabla 2.1. Clasificación de Cementos.

<b>CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO</b>				
	<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>NORMATIVA</b>	
			<b>INEN</b>	<b>ASTM</b>
<b>CEMENTO PORTLAND</b>	I	Normal	152	C 150
	IA	Normal con aire incluido	152	C 150
	II	Moderada resistencia a los sulfatos	152	C 150
	IIA	Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido	152	C 150
	III	Alta resistencia temprana	152	C 150
	IIIA	Alta resistencia inicial con aire incluido	152	C 150
	IV	Bajo calor de hidratación	152	C 150
	V	Alta resistencia a los sulfatos	152	C 150
<b>CEMENTO HIDRAULICO DESEMPEÑO)</b>	GU	Uso general	2 380	C 1157
	HE	Alta resistencia temprana	2 380	C 1157
	MS	Moderada resistencia a los sulfatos	2 380	C 1157
	HS	Alta resistencia a los sulfatos	2 380	C 1157
	MH	Moderado calor de hidratación	2 380	C 1157
	LH	Bajo calor de hidratación	2 380	C 1157
<b>CEMENTO HIDRAULICO COMPUESTO</b>	IS	Cemento portland alto horno	490	C 595
	IP y P	Cemento portland puzolánico	490	C 595
	I (PM)	Cemento portland modificado con puzolana	490	C 595
	S	Cemento de escoria o siderúrgico	490	C 595
	I (SM)	Cemento portland modificado con escoria	490	C 595

Fuente: (Karen Carrera, Daniel Zea, 2018)

### 2.1.2.2. Áridos o Agregados

Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa) e influye de manera importante en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto (Kosmatka S. Kerkhoff B. Panarese W. Tanesi J, 2004).

Los agregados como gravas y arena, se los obtiene de diversas maneras, pueden ser de origen volcánico, ríos o de la trituración de la roca madre. Cualquier agregado que tenga un tamaño máximo de 9.5 mm es considerado fino; el agregado grueso tiene un diámetro entre 19 y 25 mm, estas partículas se retienen en el tamiz N, 16 (1.18mm).

Antes de ser utilizado en la mezcla de un hormigón, los agregados deben cumplir con una serie de ensayos especificados en norma, con el objetivo de garantizar resistencia, abrasión, tamaño, resistencia a los sulfatos, contenido orgánico y humedad. Esto se realiza con el objetivo de una correcta dosificación, al ser los áridos partes fundamental en la mezcla de hormigón.

Tabla 2.2. Ensayo de Agregados

<b>Ensayo de Agregados</b>	<b>Normativa</b>
Granulometría	ASTM C 136
	AASHO T-27
	INEN 696
Material que pasa el tamiz No 200	ASTM C 117
	AASHO T-11
	INEN 697
Contenido Orgánico de Arena	ASTM C 40-99
	AASHO T-19
	INEN 858
Resistencia a la Abrasión	ASTM C 131
	AASHO T-96
	INEN 861;860

		ASTM C 127
	Agregado Fino	AASHTO T-84
Gravedad Específica		INEN 856
		ASTM C 128
	Agregado Grueso	AASHTO T-85
		INEN 857
		ASTM C 29
Peso Unitario de los Agregados		AASHTO T-19
		INEN 858
		ASTM C 142
Terrones de Arcillas		AASHTO T-112
		INEN 698
		AASHTO T-176
Equivalente de Arena		ASTM D 2419
		ASTM C-88
Desgaste de Sulfatos		AASHTO T-104
		INEN 863

### 2.1.2.3. Agua

El agua de una fuente natural participa de manera fundamental en la mezcla del hormigón, la reacción química que produce con el cemento en el proceso de dosificación, son las reacciones químicas para poder fraguar y endurecer.

El agua de mezclado está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en dicho volumen, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez tal, que permita una lubricación adecuada de los agregados, cuando la mezcla se encuentra en estado plástico (Sánchez de Guzmán, 2001).

Para evitar afectación en la resistencia y el tiempo de fraguado, el agua debe cumplir con criterios mínimos para el uso en mezclas de hormigón, para esto la AASHTO y ASTM presentan normas AASHTO T 26 y ASTM C 94 que establece criterios límites para sulfatos, cloruros y álcalis. Acerca de los sólidos disueltos en el agua a ser usada en la preparación de concreto, esta debe tener menos de 2000 partes por millón (ppm).

#### 2.1.2.3.1. Agua de Mar

El agua de marina no es correcta su uso en la mezcla de hormigón, la concentración de sales de hasta 35000 ppm, al realizar ensayos de resistencia a los 28 días, esta puede ser menor.

Al ocupar agua de mar, el concreto sufre eflorescencias y manchas que son expuestas al aire y agua.

#### 2.1.2.3.2. Aguas Acidas

La acidez del agua se verifica midiendo su pH, un valor inferior a 7.0 indica que es un agua ácida.

Las aguas ácidas con pH menor que 3.0 pueden crear problemas de mezcla. Los ácidos orgánicos como el tánico, en altas concentraciones pueden tener un efecto negativo sobre la resistencia (Kosmatka S. Kerkhoff B. Panarese W. Tanesi J, 2004).

#### 2.1.2.3.3. Aguas Alcalinas

Las aguas con concentraciones de hidróxido de sodio del 0.5% respecto al peso de cemento no afectan considerablemente a la resistencia del concreto, si no se induce un fraguado acelerado. En concentraciones elevadas pueden reducir la resistencia del concreto (Kosmatka S. Kerkhoff B. Panarese W. Tanesi J, 2004).

Algunos tipos de cemento el hidróxido de calcio tiene poco efecto en la resistencia del concreto.

#### 2.1.2.3.4. Aguas Sanitarias Residuales

El agua residual contiene 400 ppm de materia orgánica. Al pasar por un proceso de tratamiento la concentración se reduce a 20 ppm o menos, reduciendo así la afectación a la resistencia del concreto (Kosmatka S. Kerkhoff B. Panarese W. Tanesi J, 2004).

#### 2.1.2.3.5. Aguas con Sedimentos o Partículas en Suspensión

El contenido de partículas en suspensión de arcilla o partículas finas en el agua se tolera hasta 2000 ppm; tener cantidades mayores afecta la resistencia. Los procesos de

sedimentación ayudan a clarificar el agua, disminuyendo cantidad de sedimentos (Kosmatka S. Kerkhoff B. Panarese W. Tanesi J, 2004).

### **2.1.3. Propiedades Mecánicas del Hormigón**

#### *2.1.3.1. Módulo de elasticidad*

El módulo de elasticidad del hormigón depende de las características de este, tales como: la resistencia a la compresión del concreto, el tipo de carga a la que es sometido, la edad, las propiedades del cemento y de los agregados pétreos que lo conforman. Dicho módulo se puede definir de distintas maneras, por ejemplo, la pendiente medida desde el origen en la curva generada por los valores de esfuerzo y deformación se define como módulo inicial, si se mide la pendiente de una tangente en cualquier punto de la curva se conoce como módulo por tangente y el módulo por secante se define como el establecimiento de una línea entre el origen y cualquier punto de la curva que se encuentre entre el 25 y 50 por ciento de la resistencia última a compresión del concreto, para la cual se calcula la pendiente. Se puede determinar también, una vez que se haya cargado un elemento de hormigón durante un lapso, verificando las deformaciones unitarias y los esfuerzos respectivos (McCormac & Brown, 2011).

#### *2.1.3.1.1 Módulo de elasticidad según el código ACI.*

De acuerdo con el ACI el módulo de elasticidad del hormigón se expresa de la siguiente manera:

$$E_c = \gamma * W^{1.5} * \sqrt{f'_c}$$

*Ecuación 2.1.*

(American Concrete Institute, 2014)

Donde:

$E_c$ = Módulo de Elasticidad, [kg/cm<sup>2</sup>]

$\gamma$ = 4270

$W$ = Peso unitario del hormigón, [T/m<sup>3</sup>]

$f'_c$ = Resistencia a la compresión del hormigón, [kg/cm<sup>2</sup>]

El valor de  $\alpha$  es igual a:

$$\alpha = \gamma * W^{1.5}$$

*Ecuación 2.2.*

(American Concrete Institute, 2014)

$$\alpha = 4270 * W^{1.5}$$

*Ecuación 2.3.*

(American Concrete Institute, 2014)

El ACI considera que para un  $W=2.32$  [T/m<sup>3</sup>], el valor de  $\alpha$  debe ser igual a 15100, el módulo de elasticidad se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$Ec = 15100 * \sqrt{f'c}$$

*Ecuación 2.4*

(American Concrete Institute, 2014)

### *2.1.3.2. Resistencia a la compresión*

La determinación de la resistencia a la compresión se realiza con cilindros de hormigón de 15 centímetros de diámetro y 30 centímetros de alto, a los 28 días de fraguado el concreto, por medio de pruebas de falla a una velocidad específica. Durante el tiempo de fraguado los cilindros se mantienen en cuartos húmedos o completamente sumergidos en agua (McCormac & Brown, 2011).

La forma y tamaño de los especímenes de prueba y la manera en que la carga es aplicada a los mismos influye en los valores que se obtienen de la resistencia a la compresión del hormigón.

La resistencia a la compresión de los hormigones usados comúnmente se encuentra entre 210 kg/cm<sup>2</sup> a 280 kg/cm<sup>2</sup>, y de elementos presforzados de 350 kg/cm<sup>2</sup> a 420 kg/cm<sup>2</sup>, no obstante, en términos generales existen concretos con resistencias últimas que van desde 170 kg/cm<sup>2</sup> hasta 1400 kg/cm<sup>2</sup> (McCormac & Brown, 2011).

#### *2.1.3.3. Módulo de Poisson*

El módulo de Poisson es la relación entre la deformación lateral (expansión) con respecto a la longitudinal (acortamiento), cuando un cilindro de hormigón es sometido a una carga de compresión, el valor promedio es de 0.16 y aunque no tiene mayor relevancia cuando se trata de elementos de hormigón armado de construcciones no tan complejas y comunes como una casa, si se debe considerar en el análisis y diseño cuando se trata de estructuras que requieren mayor nivel de detalle tales como pantallas de presas y túneles (McCormac & Brown, 2011)

#### *2.1.3.4. Contracción*

El hormigón se logra mediante una mezcla de agregados finos y gruesos que se encuentran ligados mediante una pasta formada con agua y cemento, que ocupa espacios vacíos entre los agregados pétreos; posteriormente el concreto entra en la etapa de fraguado donde exuda parte del agua que fue usada para su mezcla debido a que eleva su temperatura interna, generando así grietas debido a la contracción de este. El agrietamiento representa pérdida de resistencia de los elementos frente a los esfuerzos cortantes y también expone el acero que los conforma a infiltraciones de agua, brisa marina si fuese el caso y químicos que resulta en corrosión (McCormac & Brown, 2011).

La contracción es mayor cuando la sección transversal de un elemento de hormigón en proporción a su área superficial es menor y tendrá gran influencia también el tipo de ambiente al que este se encuentre expuesto, siendo una atmósfera húmeda deseable para una contracción no acelerada (McCormac & Brown, 2011).

Para evitar que la contracción sea severa se debe procurar: 1) llevar un correcto proceso de curación del hormigón; 2) utilizar agregados pétreos de baja absorción; 3) utilizar juntas constructivas; 4) controlar volumen de agua utilizado en la mezcla; 5) verter el hormigón por partes en elementos de gran tamaño; 6) colocar acero de refuerzo para minimizar los efectos causados por la contracción (McCormac & Brown, 2011).

#### *2.1.3.5. Fluencia plástica*

Cuando un elemento de hormigón es sometido a cargas de compresión, sufre dos tipos de deformación; inicialmente se presenta la fluencia elástica que permite regresar a la forma original al concreto una vez que deje de aplicarse la fuerza que lo comprime, no así la fluencia plástica que se presenta posteriormente, causando deformaciones permanentes y se desarrolla parcialmente en un año (McCormac & Brown, 2011).

El valor de la fluencia plástica se ve influenciado por el esfuerzo generado por la fuerza de compresión aplicada, el cual es proporcional inicialmente cuando dicho esfuerzo no es mayor que la mitad de la resistencia a la compresión del concreto, posteriormente el flujo plástico incrementa su magnitud de manera acelerada (McCormac & Brown, 2011).

Es importante mencionar que cuando un elemento de hormigón es sometido a cargas de compresión durante un largo tiempo, además de generarse el flujo plástico, también presenta una reducción en la resistencia a la compresión del concreto en un 15 a 24% (McCormac & Brown, 2011).

El valor del flujo plástico se ve influenciado por:

- 1) La duración del proceso de curado en el hormigón, donde mayor tiempo resulta en menor flujo plástico.
- 2) El flujo plástico llega a su valor más alto cuando la temperatura del hormigón se encuentra entre 65 y 71 grados centígrados.
- 3) La cantidad de agua en la mezcla, a menor humedad el valor del flujo plástico es mayor.
- 4) Con respecto a los componentes del hormigón lo que fluye plásticamente es la pasta cementante, mas no los agregados, es decir a mayor cemento y agua habrá más flujo plástico.
- 5) El uso de acero de refuerzo reduce considerablemente el flujo plástico del hormigón.

#### *2.1.3.6. Resistencia a la tensión*

La resistencia a la tensión es aproximadamente de 85% a 92% menor que la de compresión, debido a que el concreto tiene micro fisuras que frente a esfuerzos de tensión se abren. Para medir dicha resistencia existe la prueba del módulo de ruptura, que consiste en cargar una vigueta de hormigón de 15 cm X 15 cm x 53 cm en los tercios de la longitud de la misma,

que se encuentra sobre dos apoyos simples separados 45 cm entre sí para evaluarla por flexión; y la prueba radial de cilindro que se realiza poniendo un cilindro acostado en la prensa hidráulica de compresión, la cual lo fracturará por la mitad cuando el mismo haya alcanzado su resistencia a tensión (McCormac & Brown, 2011).

#### **2.1.4. Hormigón Armado**

El concreto simple formado por agregados pétreos, agua y cemento, tiene características deseables a esfuerzos de compresión, mas no a tensión, es por eso que como solución directa a este inconveniente se incluye acero de refuerzo, reduciendo así las deformaciones que sufre un elemento de hormigón a lo largo de tiempo (Nawy, 1988)

Según (McCormac & Brown, 2011), el hormigón armado cuenta con las siguientes ventajas:

- 1) Es un material altamente moldeable, que permite lograr distintas formas tanto estructurales como arquitectónicas.
- 2) Para su realización se utilizan materiales que se encuentran en la zona a precios bajos, tales como: agregado fino y grueso y agua. La cantidad de uso de cemento y acero de refuerzo es relativamente menor respecto a los materiales mencionados inicialmente.
- 3) La mano de obra no debe ser altamente calificada para su colocación.
- 4) Tiene una larga vida útil en buenas condiciones y a diferencia de otros materiales, sus propiedades de resistencia aumentan con el tiempo debido a la solidificación de la mezcla de agua-cemento.
- 5) En comparación de una estructura metálica, con una de hormigón armado, requiere mucho menos mantenimiento.
- 6) Es un material con alta durabilidad cuando está expuesto al fuego, si los elementos cuentan con el recubrimiento necesario en el acero, los daños son mínimos y el elemento no falla; cuando el hormigón está inmerso en agua y este ha sido colado y curado correctamente evitando la formación de grietas que permitan el ingreso de agua hasta el acero, este tiene un desempeño elevado como es el caso de los pilares sumergidos de un puente.

### **2.1.5. Pavimento Rígido**

El pavimento rígido está conformado principalmente por concreto que da forma a una losa que puede estar hecha de hormigón simple o armado, misma que descansa directamente sobre la subbase o base de una vía, a la cual transmite las cargas del tráfico vehicular que la transita.

Según Delatte, George Bartholomew fue quien construyó el primer pavimento rígido, que tuvo lugar en el estado de Ohio, Estados Unidos en el año de 1891; este logró llamar la atención debido a su larga vida útil, teniendo como antecedente que el ayuntamiento de Ohio exigió a George Bartholomew una fianza de cinco mil dólares que garantice una vida útil de 5 años del pavimento, 100 años después parte de éste, aún siguió en uso (Delatte, 2008).

Consecuentemente al ser considerado el pavimento rígido como una solución duradera, dos años después en 1893, la avenida “Court Avenue” y la calle “Opera Street” en la ciudad de Bellefontaine, Ohio, Estados Unidos; fueron las primeras vías en ser pavimentadas con este tipo de pavimento (Delatte, 2008).

Como dato histórico las primeras pruebas del pavimento rígido fueron realizadas en el año 1909 por el departamento de obras públicas de Detroit “Public Works Department of Detroit”; donde se usaron zapatos y ruedas pesadas de acero para simular el paso de caballos y el tráfico de carrozas. Este estudio fue de utilidad para que, en el Condado de Wayne County en el Estado de Michigan, se pavimentara la avenida “Woodward Avenue” y posteriormente sesenta millas más en los siguientes dos años (Delatte, 2008).

#### *2.1.5.1 Tipos de Pavimento Rígido.*

Durante la construcción del pavimento rígido, tiene que ser dividido en diferentes losas con espacios entre ellas, denominados juntas que ayudan a que el concreto no se fisure cuando el mismo se expande debido a la elevación de temperatura en días calurosos; en base a esta premisa tenemos los siguientes tipos:

#### *2.1.5.1.1 Pavimento rígido no reforzado.*

Este pavimento no cuenta con acero de refuerzo, se trata de losas macizas de concreto solamente, cuyas juntas cuentan con varillas para transferir la carga, o una trabazón de agregados pétreos.

#### *2.1.5.1.2 Pavimento rígido reforzado.*

En este tipo de pavimento el acero de refuerzo está presente en las losas que lo conforman y presenta juntas que cuentan con varillas de transferencia de carga cuando se trata de vías con un tráfico moderado. Por otro lado, existe el pavimento rígido reforzado continuo, el cual no cuenta con juntas, y se usa en vías de alto tráfico.

### **2.1.6. Fibras Naturales en el Hormigón**

Se pueden denominar fibras naturales a todas aquellas producidas por animales, plantas o procesos geológicos. Las fibras vegetales pueden ser usadas en mezclas de hormigón y morteros de pasta de cemento como alternativa al uso de fibras artificiales, las cuales pueden ser de acero o sintéticas, con el fin de mejorar las propiedades de resistencia a los distintos esfuerzos a los que podrían estar sometidas dichas mezclas. Entre las fibras vegetales que podrían utilizarse en la mezcla del hormigón podemos encontrar: algodón, bagazo de caña de azúcar, hoja de piña, yute, bambú, palma de plátano, cáñamo, lino, entre otras. El uso de las fibras vegetales aporta al desarrollo sostenible, tomando en cuenta que su disponibilidad es alta en muchos países, como en Ecuador y que su costo es muy bajo con respecto a los costos promedios de los materiales necesarios para la realización del hormigón, siendo su uso de gran beneficio para mejorar las propiedades de este. Las fibras vegetales tienen distintas aplicaciones en la construcción, como puede ser la realización de: mortero, tejas, concreto, tableros, losas onduladas, paneles de losas simples, entre otros.

Es importante mencionar que la humedad que poseen las fibras podría influir en la resistencia al ser incluidas en la mezcla del concreto, razón por la cual, podría ser necesario un tratamiento, como el uso de resinas o gomas, antes de ser utilizadas para evitar su descomposición (Carrión L.; Ordoñez J.; Duran J.; Farias J., 2019).

## 2.2. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

### 2.2.1. Granulometría

Los agregados poseen una granulometría dependiendo de su procedencia, se debe realizar un número de ensayos que permitan evaluar la muestra. Para el diseño de la mezcla es fundamental obtener parámetros granulométricos promedios (J Porrero. C Ramos. J Grases. G Velazco., 2009).

Para conocer el tamaño de las partículas se realiza análisis granulométrico que divide una masa de los agregados en fracciones del mismo tamaño, este material pasará por tamices con aberturas normalizados por la NTE INEN 154. Las cuales son colocadas con el de mayor abertura en la parte superior de manera descendente y de forma progresiva hasta llegar al de menor abertura. El proceso se realiza por agitación, haciendo que el material se distribuya según tamaños.

Para este ensayo se debe seguir la norma INEN 696, misma que se basa en la norma ASTM C 136.



*Figura 2.1. Serie de Tamices para granulometría de agregado fino.*



*Figura 2.2.* Colocación de muestra de agregado fino.



*Figura 2.3.* Tamizadora Mecánica.



*Figura 2.4. Serie de tamices y tamizadora mecánica para agregado grueso.*



*Figura 2.5. Muestra de agregado grueso separada por tamaños.*

### **2.2.2. Peso Unitario de los Agregados**

El peso unitario se obtiene de la relación entre el peso y el volumen de la muestra, que está compuesta por partículas de varios tamaños; el recipiente que se ocupará tendrá un volumen conocido (Sánchez de Guzmán, 2001).

Para este ensayo se debe seguir la norma INEN 858, fundamentada en la norma ASTM C 138.

### 2.2.2.1. *Peso Unitario Suelto*

Es el material que se deja en caída libre desde una altura en un recipiente conocido y estable, para posteriormente pesarlo. Con este dato se establece la relación peso sobre volumen (J Porrero. C Ramos. J Grases. G Velazco., 2009).



Figura 2.6. Peso unitario suelto agregado fino.

### 2.2.2.2. *Peso Unitario Compacto*

El procedimiento se realiza de forma similar al del Peso Unitario Suelto, pero en este ensayo se compacta el material dentro del molde. Existen métodos de compactación por varillado y por sacudidas para incrementar el grado de acomodo de las partículas, para aumentar el valor de la masa.



*Figura 2.7. Peso Unitario compacto de agregado fino.*

### **2.2.3. Contenido de Humedad Natural**

La humedad es la diferencia de peso del material húmedo y del mismo secado al horno, esto se expresa en porcentaje de peso referido con respecto al material seco (J Porrero. C Ramos. J Grases. G Velazco., 2009).

Al realizar una mezcla, el agua interna de los áridos no es considerada agua de mezcla, al contrario, si el material se encuentra muy seco puede absorber el agua de la misma.

El árido grueso es poco susceptible a cambios bruscos de humedad, no así el agregado fino donde la afectación es mucho más notable como su aumento de volumen al ser expuesto a mayor humedad.

Para el ensayo de humedad se debe basar en la norma INEN 862, misma que consulta la ASTM C 566.

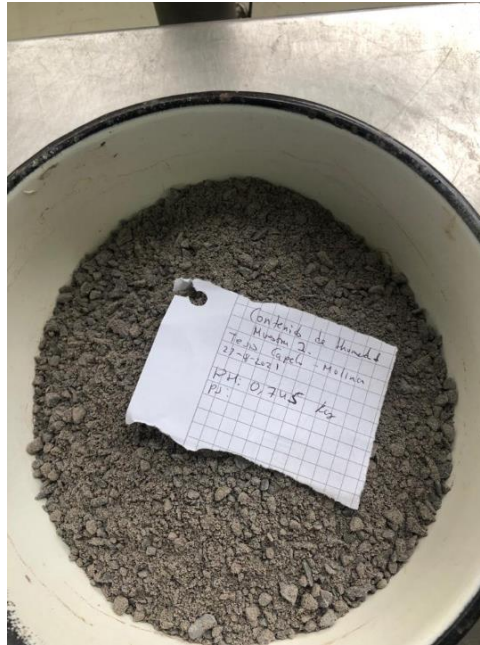


Figura 2.8. Muestra húmeda de agregado fino.



Figura 2.9. Muestra seca agregado grueso.

#### **2.2.4. Gravedad Específica**

La gravedad específica o densidad relativa es una relación entre la masa de aire de un volumen de agregado y la masa de éste sumergido.

El valor de gravedad específica varía entre 2.4 y 2.9.

La norma ASTM C 127 define como la relación entre la masa y el agua con el mismo volumen absoluto (ASTM C127, 2015).

#### 2.2.4.1. Gravedad Específica (Agregado Fino)

La densidad específica Bulk o gravedad específica aparente, se caracteriza por el cálculo de vacíos entre partículas de árido, ya que esta tiene relación con la cantidad de cemento y agua que se ocupará en el hormigón.

Este ensayo se realiza mediante el uso de un molde de forma cónica de 3 cm de diámetro en la parte superior y 8.9 cm en la inferior, con un alto de 7.3 cm. y una barra compactadora.

Para el ensayo de gravedad específica del agregado fino, se debe seguir la norma INEN 856, misma que toma de consulta de la ASTM C 127.



Figura 2.10. Saturación de muestra de agregado fino y grueso.

#### 2.2.4.2. Gravedad Específica (Agregado Grueso)

En este ensayo el agregado grueso se satura y se seca de manera superficial obteniendo así la muestra en un estado denominado saturado con superficie seca.

La gravedad específica se calcula con la relación de la masa de la muestra seca al horno entre la masa de la muestra saturada con superficie seca, menos la masa de la muestra saturada.

Para el ensayo de gravedad específica del agregado grueso se debe seguir la norma INEN 857, misma que consulta la ASTM C 127.



*Figura 2.11.* Muestra de agregado grueso saturado.



*Figura 2.12.* Muestra agregado grueso saturado con superficie seca.



*Figura 2.13.* Canastilla para tomar peso sumergido de agregado grueso.



Figura 2.14. Agregado grueso sumergido.

### **2.2.5. Absorción de los Agregados**

Los agregados finos y gruesos contienen poros internos que permiten que ingresen las partículas de agua durante un tiempo determinado, debido a esto, se produce el incremento de la masa del mismo (Instituto de Normalización Ecuatoriano, 2010).

El control de la absorción de agua debe ser constante con el fin de conocer las variaciones en la relación agua-cemento (Kosmatka S. Kerkhoff B. Panarese W. Tanesi J, 2004).

Para realizar el ensayo de gravedad específica del agregado grueso, se debe basar en la norma INEN 857, misma que toma consulta de la ASTM C 127.

Para realizar el ensayo de gravedad específica del agregado fino se debe basar en la norma INEN 856, misma que toma consulta de la ASTM C 127.

### **2.2.6. Terrones de Arcilla**

Los agregados naturales contienen partículas desmenuzables como: terrones de arcilla, madera, partículas blandas, entre otras; estas son más finas que 75  $\mu\text{m}$  (Lara Carrera, 2018).

El ensayo consiste en determinar el contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en los áridos que conforman el hormigón, mediante el uso de tamices que retienen las partículas de un tamaño determinado (Normalización, 2010).

Para el ensayo de terrones de arcilla se debe basar en la norma INEN 698, fundamentada en la ASTM C 142.



*Figura 2.15.* Humedecimiento de agregado grueso para ablandar terrones de arcilla.



*Figura 2.16.* Remoción de terrones de arcilla con yemas de los dedos.

### **2.2.7. Material que pasa el tamiz #200 (Agregado Fino)**

El ensayo consiste en separar el material más fino que  $75\ \mu\text{m}$  de partículas más grandes; este procedimiento se realiza en una muestra seca y en una muestra lavada de agregado fino.

Entre los procesos en seco y mediante lavado, no debe existir una diferencia significativa (Norma Técnica Ecuatoria INEN 697, 2010).

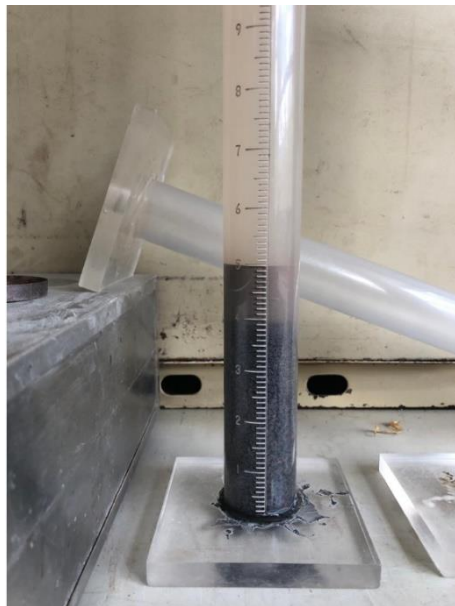
Para el ensayo de material que pasa el tamiz #200 se debe basar en la norma INEN 697, que toma consulta de la ASTM C 117.

### **2.2.8. Equivalencia de Arena**

Este método indica las proporciones del tamaño de arcilla o finos plásticos, polvo de suelos granulares y agregado fino que pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

Un volumen de sólido se coloca en una probeta graduada en altura, el ensayo se relaciona con la altura de las partículas del material arcilloso, se coloca una cantidad de solución floculante y se agita una cantidad específica de veces bajo condiciones estándar (Lara Carrera, 2018).

Para el ensayo de equivalente de arena se base en la norma ASTM D2419.



*Figura 2.17.* Probeta de ensayo de equivalente de arena.

### **2.2.9. Contenido de Material Orgánico (Agregado Fino)**

Determina la presencia de impurezas orgánicas en el agregado fino, estas absorben agua y la disminuyen de la mezcla; el límite permitido de acuerdo con la norma ASTM es de 500 ppm. El ensayo que se realiza es una prueba colorimétrica.

Para realizar el ensayo de contenido orgánico en el agregado fino, se coloca una muestra del mismo con hidróxido de sodio al 3% en una botella transparente, la cantidad de solución debe ser mayor a la de arena.

Para realizar el ensayo de contenido de material orgánico se debe seguir la norma ASTM C 40.



*Figura 2.18.* Disco de colores normalizado para determinar el contenido orgánico.

### **2.2.10. Desgaste a los Sulfatos**

El ensayo de desgaste a los sulfatos establece la resistencia de los agregados tanto finos como gruesos, al estar sometidos a soluciones de sulfato de magnesio, permitiendo conocer la resistencia a la desintegración.

En este método se debe completar 5 ciclos de sulfato de magnesio, después es esto los agregados pasan por una serie de tamices obteniendo el nuevo tamaño de los agregados (Lara Carrera, 2018).

Para el ensayo de desgaste a los sulfatos se debe seguir la norma ASTM C 88.



*Figura 2.19. Muestras de agregados sumergidos en sulfato.*



*Figura 2.20. Remoción de sulfato a muestra de agregado.*

### **2.2.11. Desgaste del Agregado Grueso en la máquina de los ángeles.**

La resistencia al desgaste o abrasión de un agregado grueso indica la calidad y capacidad de resistir efectos de impacto y trituración.

El ensayo consiste en colocar 12 esferas dentro de un tambor de acero giratorio con una muestra de agregado grueso, cuya masa se establece según la norma; la rotación sucesiva de este tambor se encarga de generar el desgaste.

El ensayo de desgaste del agregado grueso en la máquina de los ángeles se basa en la norma INEN 861 y 860, misma que consulta la ASTM C 131.



*Figura 2.21.* Máquina de tambor rotatoria para ensayo de desgaste de agregado grueso.



*Figura 2.22.* Muestra de agregado grueso con rulimanes dentro de la máquina de los ángeles.

## 2.3. ENSAYOS DE CEMENTO

### 2.3.1. Finura del cemento

La Finura es una de las propiedades principales del cemento que sirve para verificar la facilidad de hidratación y la velocidad de desarrollo de la resistencia a la compresión, por ejemplo, un cemento tipo III de alta y temprana resistencia tiene mayor molienda, aunque también se debe tomar en cuenta que a mayor finura pueden presentarse efectos no deseables como una contracción más agresiva que promueve la formación de grietas (Universidad Centroamericana "Jose Simeon Cañas") .

El tamaño de las partículas de cemento no puede ser determinado por tamizaje debido a su minúsculo tamaño, es por eso que se requieren otros procedimientos como el método de Blaine que nos permite conocer la finura del cemento en términos del área superficial respecto al peso, pudiendo ser en centímetros cuadrados por gramo o metros cuadrados por kilogramo de cemento (Lara Carrera, 2018).

Para la realización de este ensayo se necesitan las normas INEN 196 y ASTM C-204.



*Figura 2.23.* Equipos necesarios para la realización del ensayo de finura del cemento.



*Figura 2.24.* Colocación de papel filtro en celda de permeabilidad mediante un émbolo.



*Figura 2.25.* Colocación de muestra de cemento en celda de permeabilidad.



Figura 2.26. Ensayo de finura del cemento por el método Blaine.

### **2.3.2. Tiempo de fraguado por el método Vicat**

La pasta de cemento genera una reacción donde se libera el calor denominada respuesta exotérmica, dando inicio al proceso de endurecimiento que se presenta en dos estados; el primero es el fraguado inicial donde la mezcla sigue en estado fluido, pero es notable la pérdida plasticidad y trabajabilidad; y el segundo se denomina fraguado final donde la mezcla ya se encuentra en estado sólido (Universidad Centroamericana "Jose Simeon Cañas").

Para determinar el tiempo de fraguado inicial se verifica cuando se demora en penetrar 25 mm la aguja de Vicat en la pasta de cemento (Lara Carrera, 2018).

El tiempo final de fraguado consiste en medir el tiempo en el que la aguja de Vicat no marca visiblemente la mezcla agua-cemento (Lara Carrera, 2018).

Las normativas necesarias para realizar este ensayo son INEN 158, AASHTO T 131 y ASTM C-191.

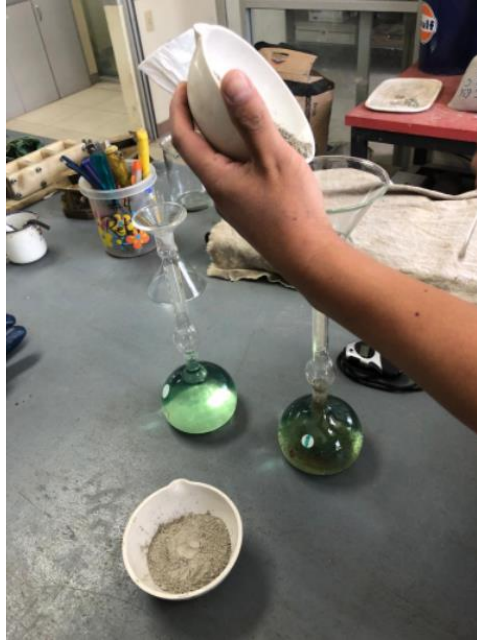


*Figura 2.27. Ensayo de tiempo de fraguado por el método de Vicat.*

### **2.3.3. Gravedad específica del cemento**

La gravedad específica de un material es la relación de su densidad con respecto a la densidad del agua, en este caso el material es el cemento y para determinar su gravedad específica se utiliza la variación de volumen que genera al ser depositados sesenta y cuatro gramos del mismo, en un frasco Le Chatelier que contiene Kerosene libre de agua o nafta, el cual debe estar a temperatura ambiente mediante baño maría (American Society for Testing and Materials, 1995).

Este ensayo se realiza en base a las normativas ASTM C 188-95 y AASTHO T 1-33.



*Figura 2.28.* Colocación de muestra de cemento en frasco Le Chatelier.



*Figura 2.29.* Ensayo gravedad específica del cemento.

#### **2.3.4. Esfuerzo de Compresión de morteros de cemento**

El mortero es una mezcla de agregado fino con cemento y una cantidad adecuada de agua, resultando una pasta de consistencia plástica que mediante el proceso de fraguado se solidifica y conserva la forma que le fue dada (Mejía García, Chinchilla Rivera, & Mendoza Barrios, 2012).

Para este ensayo se formarán cubos de 50 milímetros o dos pulgadas, que posteriormente serán ensayados en una prensa que aplica una carga de compresión para evaluar su resistencia al esfuerzo generado, tomando en cuenta que se debe controlar que el porcentaje de fluidez del mortero se encuentre entre el 105% y el 116% para poder ser usado en la realización de los especímenes (Lara Carrera, 2018).

Las normativas que rigen este ensayo son: INEN 488, AASHTO T-106, ASTM C-109.



*Figura 2.30. Colocación de mortero fresco en molde cúbico.*



Figura 2.31. Compresión de mortero de cemento.

## **2.4. CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA**

### **2.4.1. Fibra de Bagazo de Caña de Azúcar**

#### *2.4.1.1. Localización de la Fibra de Bagazo de Caña de Azúcar*

La fibra de bagazo de caña utilizada en esta investigación fue obtenida de las plantaciones de caña de azúcar pertenecientes a la empresa “Ingenio Azucarero del Norte Compañía de Economía mixta IANCEM”, que se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura, Ecuador en la Panamericana Norte, kilómetro 25 de la vía Ibarra Tulcán. Esta empresa fue constituida el 10 de marzo de 1986 y desde ahí enfoca su actividad en la elaboración y refinado del azúcar, jarabe y melaza de caña, contando con aproximadamente 3322 hectáreas de plantación de caña de azúcar, actualmente genera parte de su energía eléctrica y térmica por medio de cogeneración utilizando el 90% de bagazo de caña producido, que corresponde a unas 53 toneladas por hectárea en cada ciclo de cosecha, con una duración de 18 meses (Quinteros Vaca, 2020).



*Figura 2.32.* Plantación de Caña de azúcar, Ingenio Tababuela.



*Figura 2.33.* Bagazo de caña en la planta de procesamiento del Ingenio azucarero de Tababuela.



*Figura 2.34.* Bagazo de caña previo al proceso de tamizado.

#### *2.4.1.2. Proceso de obtención de la Fibra de Bagazo de Caña de Azúcar*

Para la obtención del bagazo de caña de azúcar se inicia con el proceso de cosecha que consiste en el corte de su tallo y despojado de sus hojas. Posteriormente se extrae el jugo de los tallos aplastándolos mediante un trapiche; el residuo obtenido de este proceso se conoce como bagazo de caña y es un conjunto de fibras vegetales alargadas que pasan por un subproceso de trituración que facilita su apilado y uso (Quinteros Vaca, 2020).

#### **2.4.2. Caracterización de la Fibra de Bagazo de Caña de Azúcar**

El bagazo de caña de azúcar utilizado en esta investigación fue transportado desde el Ingenio Azucarero del Norte, hasta el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, en la ciudad de Quito, donde primeramente fue secado, posteriormente se lo tamizó recuperando el bagazo pasante el tamiz número 8 y retenido en el tamiz número 16, obteniendo fibras vegetales de dos a tres centímetros de longitud.



*Figura 2.35.* Proceso de tamizaje del bagazo de caña por el tamiz número 16.



*Figura 2.36.* Longitud de las fibras de bagazo de caña.

### **2.4.3. Proceso para la Dosificación con Fibra de Bagazo de Caña de Azúcar**

En la adición del bagazo de caña de azúcar en estado natural a la mezcla de hormigón se pudo evidenciar que las fibras absorben agua de la mezcla, es por eso que fue necesaria la estimación de la cantidad adicional de agua, de tal manera que no se vea afectado el asentamiento de diseño del hormigón correspondiente a 7.5 centímetros en la presente investigación. Para realizar esta estimación se procedió a adicionar distintas cantidades de agua respecto al peso de la fibra en la mezcla de hormigón, con su respectiva medición del asentamiento mediante el cono de Abrams, obteniendo así una curva de cantidad de agua versus asentamiento en la cual se estableció una cantidad de 3.5 mililitros de agua por el peso de la fibra utilizada en la mezcla.



*Figura 2.37.* Mezcla fresca de hormigón con fibras de bagazo de caña.



*Figura 2.38.* Distribución del 1% de fibra de bagazo de caña respecto al peso del cemento en el hormigón.



*Figura 2.39.* Distribución del 3% de fibra de bagazo de caña respecto al peso del cemento en el hormigón.



*Figura 2.40.* Distribución del 5% de fibra de bagazo de caña respecto al peso del cemento en el hormigón.



*Figura 2.41.* Distribución del 6% de fibra de bagazo de caña respecto al peso del cemento en el hormigón.

## 2.5. ENSAYOS DE RESISTENCIA

### 2.5.1. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón

Mediante este ensayo se determina la resistencia a esfuerzos de compresión de muestras cilíndricas de hormigón moldeadas o núcleos extraídos mediante perforación. El proceso consiste en la aplicación progresiva de una carga axial a la muestra a una velocidad de 0.25 más menos 0.05 mega pascales por segundo, generando así esfuerzos de compresión hasta que el espécimen falle y no admita más carga axial. Una vez presentada la falla se debe verificar su tipo basándose en el anexo A, figura 2 de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1573:2010 y observar la presencia de fracturas, porosidad, cavidades, y si la fractura se dio en la pasta cementante o en los agregados gruesos (Instituto Ecuatoriano de Normalización , 2010).

La resistencia a la compresión simple se calcula de con la siguiente ecuación:

$$F'c = \frac{P}{A}$$

*Ecuación 2.5*

Donde:

$F'_c$ : Resistencia a la compresión de hormigón, [MPa].

P: Carga máxima aplicada al espécimen, [N].

A: Área de la sección transversal de la muestra, [mm<sup>2</sup>].

Es importante tomar en cuenta que para la interpretación de los resultados de este ensayo se debe considerar la influencia de las dimensiones, geometría de la muestra, dosificación, métodos de mezclado, colado en el molde cilíndrico y el control del proceso de curado del hormigón (Instituto Ecuatoriano de Normalización , 2010).

Los resultados obtenidos de este ensayo sirven para el control de calidad del hormigón utilizado en obra, verificar el diseño de una dosificación, procesos de mezcla y colado, y control de uso de aditivos (Instituto Ecuatoriano de Normalización , 2010).



*Figura 2.42.* Ensayo de compresión simple.



*Figura 2.43.* Falla en el cilindro de hormigón después del ensayo de compresión simple.

### **2.5.2. Determinación de la resistencia a la flexión**

Para determinar la resistencia a la flexión de hormigón se utiliza una viga prismática de 15x15x55 centímetros simplemente apoyada en sus límites laterales, a la que se le aplica una carga a velocidad constante en los tercios medios de su longitud libre, mediante bloques de carga que garanticen la perpendicularidad de las cargas hacia la cara de la viga, sin excentricidad, hasta llegar a la rotura de la misma (Instituto Ecuatoriano de Normalización , 2011).

Para calcular el módulo de rotura se deben tomar en cuenta los siguientes casos:

Si la fractura de la muestra se produce al interior de su tercio medio (Instituto Ecuatoriano de Normalización , 2011), el módulo de rotura se calcula con la siguiente ecuación.

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

*Ecuación 2.6*

Donde:

R: módulo de rotura, [MPa].

P: Carga máxima aplicada, [N].

L: Luz libre, [mm].

b: Ancho promedio en la fractura, [mm].

d: Altura promedio en la fractura, [mm].

Si la fractura de la muestra se produce al exterior de su tercio medio, pero no más allá del 5% de la luz libre (Instituto Ecuatoriano de Normalización , 2011), el módulo de rotura se obtiene con la siguiente ecuación:

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

*Ecuación 2.7*

Donde:

R: módulo de rotura, [MPa].

P: Carga máxima aplicada, [N].

a: Longitud media entre la línea de fractura y el apoyo más cercano, [mm].

b: Ancho promedio en la fractura, [mm].

d: Altura promedio en la fractura, [mm].

Si la muestra se fractura al exterior de su tercio medio en más de un 5% de la luz libre, se debe descartar el resultado obtenido (Instituto Ecuatoriano de Normalización , 2011).

Los resultados obtenidos de este ensayo sirven mayormente para el control de hormigones utilizados en losas y en pavimentos rígidos (Instituto Ecuatoriano de Normalización , 2011).



*Figura 2.44. Ensayo de resistencia a flexión en vigas.*



*Figura 2.45. Falla producida en el tercio medio de la viga.*

### **2.5.3. Determinación del Módulo de Elasticidad**

Mediante este método de ensayo se determina el módulo de elasticidad secante o módulo de Young en muestras cilíndricas moldeadas o núcleos perforados de concreto, mismas que son sometidas a cargas axiales, con el fin de obtener una relación esfuerzo deformación. La medición de deformaciones se logra mediante un compresómetro que consiste en dos anillos que van unidos al cilindro de hormigón ligados con un vástago pivotado entre sí, cuyo cambio de distancia es la lectura de deformación, que puede ser medida por un dial directamente, un sistema multiplicador de palanca, un deformímetro de alambre o por un transformador diferencial lineal variable (American Society for Testing and Materials, 2014). En caso de que no sean iguales las distancias entre el vástago pivotado y el medidor

del plano vertical que pasa a través del punto de soporte del yugo rotativo (American Society for Testing and Materials, 2014), las deformaciones se calcularán de la siguiente manera:

$$d = \frac{g * er}{er + eg}$$

*Ecuación 2.8*

Donde:

d: Deformación total del espécimen, [mm].

g: Lectura del dial, [mm].

eg: Distancia perpendicular desde el dial al plano vertical que pasa por los dos puntos de soporte del anillo rotativo.

er: Distancia perpendicular desde el vástago pivotado al plano que pasa por los dos puntos de soporte del anillo rotativo.

Una vez determinadas las deformaciones se procede a realizar la gráfica esfuerzo versus deformación de donde se obtendrán los datos para calcular el módulo de elasticidad con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{F2 - F1}{\epsilon 2 - 0.00005}$$

*Ecuación 2.9*

Donde:

E= Módulo de elasticidad, [kg/cm<sup>2</sup>].

F1= Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria con un valor de 0.00005, [kg/cm<sup>2</sup>].

F2= 40% de la resistencia última, [kg/cm<sup>2</sup>].

ε2= Deformación unitaria correspondiente al esfuerzo “F2”.



*Figura 2.46.* Ensayo de módulo de elasticidad en una probeta cilíndrica de

#### **2.5.4. Determinación de la Resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de hormigón**

Este ensayo sirve para determinar la resistencia a la tracción de especímenes cilíndricos de hormigón ya sean moldeados o núcleos extraídos de cuerpos de concreto de cemento hidráulico, mediante la aplicación de una fuerza de compresión en la parte más larga del espécimen con una prensa hidráulica hasta generar la falla debido a los esfuerzos de tracción que esta genera, los cuales se distribuyen desde la parte interna central hacia la parte externa lateral. También se producen esfuerzos de compresión, pero la falla por dicho esfuerzo no se produce antes que la falla por esfuerzos de tracción, porque la aplicación fuerzas en las zonas de compresión es triaxial, permitiéndole así a la muestra resistir esfuerzos superiores a los que resistiría en el ensayo de compresión simple (Instituto Ecuatoriano de Normalización , 2013).

Para realizar este ensayo se debe marcar el cilindro de hormigón con líneas que lo segmenten en dos partes iguales a lo largo del mismo, con el fin de utilizarlas como referencia para la alineación y colocación de dos tiras de carga de madera contrachapada completamente lisa

de tres milímetros de espesor nominal, veinticinco milímetros de ancho y de largo una dimensión igual o ligeramente mayor que la longitud del espécimen, tanto en la parte superior como inferior de la muestra, para la posterior aplicación de la carga mediante la prensa hidráulica (Instituto Ecuatoriano de Normalización , 2013).

En caso de que las dimensiones de los bloques de carga de la prensa hidráulica sean menores a las dimensiones de la muestra de hormigón, se deberá usar una placa adicional de acero, con el fin de garantizar la aplicación de la carga en la totalidad de la longitud del cilindro (Instituto Ecuatoriano de Normalización , 2013).

La resistencia a la tracción por compresión diametral se calcula con la siguiente ecuación:

$$T = \frac{2 * P}{\pi * l * d}$$

*Ecuación 2.10*

Donde:

T: Resistencia a tracción, [MPa].

P: Carga máxima aplicada, [N].

l: Longitud del cilindro, [mm].

d: Diámetro del cilindro, [mm].

Los resultados obtenidos en este ensayo se utilizan para el diseño estructural de elementos de hormigón, evaluar resistencia al corte y determinación de longitud de desarrollo del refuerzo de acero (Instituto Ecuatoriano de Normalización , 2013).



*Figura 2.47.* Ensayo de tracción indirecta, método brasilero.



*Figura 2.48.* Falla producida en el cilindro de hormigón por el ensayo de tracción indirecta.

## 2.6. DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN

### 2.6.1. Elección del Asentamiento

El asentamiento o revenimiento se encarga de medir la consistencia del concreto y la trabajabilidad de la mezcla. Se usa para diferentes mezclas de un mismo diseño que al cambiar el asentamiento indica un cambio en las características de los materiales o proporciones de la mezcla (Kosmatka S. Kerkhoff B. Panarese W. Tanesi J, 2004).

Los valores de revenimiento dependen el tipo de construcción. No se debe exceder el valor máximo de asentamiento, un pequeño ajuste en la mezcla puede aumentar en cerca de 10 mm.

Estos valores se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla 2.3. Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.

Construcción de Concreto	Revenimiento mm	
	(pulg.)	
	Máximo*	Mínimo
<b>Zapatas y muros de cimentación reforzado</b>	75 (3)	25 (1)
<b>Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo</b>	75 (3)	25 (1)
<b>Vigas y muros reforzados</b>	100 (4)	25 (1)
<b>Columnas de edificios</b>	100 (4)	25 (1)
<b>Pavimentos y losas</b>	75 (3)	25 (1)
<b>Concreto masivo</b>	75 (3)	25 (1)

\*puede incrementarse 2.5 para métodos de consolidación a distintos a la vibración.

Fuente: (Kosmatka S. Kerkhoff B. Panarese W. Tanesi J, 2004)

Tabla de Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción (Adaptada de ACI 211.1)

### 2.6.2. Elección del tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo de los agregados no debe exceder las siguientes dimensiones:

- La quinta parte de la separación mínima entre lados del encofrado.

- b. Las tres cuartas partes del espaciamiento libre mínimo entre varillas o alambres individuales, torres o ductos de refuerzo y lotes de varillas.
- c. La tercera parte del espesor, en el caso de la losa.

El tamaño máximo de los agregados debe estar entre 9.51 mm y 76.1 mm.

### **2.6.3. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire**

Al momento de la dosificación el aire natural queda atrapado en el concreto. Pronosticando esta reacción es conveniente incluir aire en la mezcla de concreto (Sánchez de Guzmán, 2001).

Tabla 2.4. Agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado.

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregados indicados*							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm **	75 mm **	150 mm **
Concreto sin aire incluido								
25 a 50	270	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, (porcentaje)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, (porcentaje)								
Exposición blanda	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: (Kosmatka S. Kerkhoff B. Panarese W. Tanesi J, 2004)

Tabla de Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado (Adaptada de ACI 211.1)

## **2.6.4. Elección de la relación AGUA/CEMENTO (A/C)**

### *2.6.4.1. Por Resistencia*

Tabla 2.5. Relación agua/cemento y Resistencia a la compresión del hormigón.

Resistencia a Compresión a los 28 días, kg/cm <sup>2</sup>	Relación agua - material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38 (0.38)	0.31 (0.30)
400 (40)	0.43 (0.42)	0.34 (0.34)
350 (35)	0.48 (0.47)	0.40 (0.39)
300 (30)	0.55 (0.54)	0.46 (0.45)
250 (25)	0.62 (0.61)	0.53 (0.52)
200 (20)	0.70 (0.69)	0.61 (0.60)
150 (15)	0.80 (0.79)	0.72 (0.70)

La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo por 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (AASHTO T 23). La dependencia asume el agregado con un tamaño máximo nominal de 19 a 25 mm. Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3.

Fuente: (Kosmatka S. Kerkhoff B. Panarese W. Tanesi J, 2004).

### *2.6.4.2. Resistencia de Diseño*

En el diseño del hormigón existe un factor de seguridad y este varía entre un 3% y 12%, esto depende de los materiales y el lugar donde se realiza la dosificación.

$$f'c (\text{Diseño}) = f'c (\text{Requerida}) * \left[ 1 + \frac{\% \text{ factor de seguridad}}{100} \right]$$

*Ecuación 2.11*

En función de la resistencia de diseño se procedió a elaborar tres dosificaciones con distinta relación agua/cemento, con esto se busca establecer el correcto valor para el diseño de la dosificación exacta, este valor se asemeja a la tabla de valores expuesta por el Ingeniero Lauro Lara, docente de la Pontificia Universidad Católica de Quito, que por su experiencia estableció valores referenciales para obtener una correcta dosificación.

### **2.6.5. Contenido de cemento**

Se define la relación a/c y el agua de mezclado, el contenido de cemento por el volumen de hormigón:

$$\text{Contenido de cemento } \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado } \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)}{\text{Relación a/c}}$$

*Ecuación 2.12*

### **2.6.6. Cantidad de agregado grueso y agregado fino**

#### *2.6.6.1. Peso Unitario del Hormigón (UM)*

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

*Ecuación 2.13*

$$Ga = \frac{G. \text{Fino SSS} + G. \text{Grueso SSS}}{2}$$

*Ecuación 2.14*

Ga: Gravedad específica SSS, promedio del agregado fino y grueso

Gc: Gravedad específica del cemento

A: % de Aire contenido (%)

Cm: Contenido de cemento  $\left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$

Wm: Agua neta  $\left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$

#### *2.6.6.2. Agrega en Estado S.S.S*

$$\text{Agregado SSS } \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = Um - Wm - Cm$$

*Ecuación 2.15*

Para establecer la cantidad de metros cúbicos de cada agregado en condición SSS, se calcula con los porcentajes de agregado fino y grueso.

$$\text{Agregado Fino SSS} \left( \frac{Kg}{m^3} \right) = \text{Agregados SSS} * \frac{\% A. Fino}{100}$$

*Ecuación 2.16*

$$\text{Agregado Grueso SSS} \left( \frac{Kg}{m^3} \right) = \text{Agregados SSS} * \frac{\% A. Grueso}{100}$$

*Ecuación 2.17*

### 2.6.6.3. Agregado en Estado Natural

Se calcula para los dos agregados con los datos de humedad natural y porcentaje de absorción.

$$\text{Masa Seca} \left( \frac{Kg}{m^3} \right) = \frac{\text{Masa SSS}}{1 + \frac{\% Abs}{100}}$$

*Ecuación 2.18*

$$\text{Masa Natural} \left( \frac{Kg}{m^3} \right) = \text{Masa Seca} * \left( 1 + \frac{\% hn}{100} \right)$$

*Ecuación 2.19*

### **2.6.7. Agua de Mezcla**

$$\text{Agua de mezcla} = \text{Agua Neta} + M. Seca Fino * \frac{\% Abs - \% hn}{100} + M. Seca Grueso * \frac{\% Abs - \% hn}{100}$$

*Ecuación 2.20*

### 3. CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 3.1. Ensayos Agregado fino

##### 3.1.1. Granulometría

Tabla 3.1. Granulometría Agregado Fino

Diseño de Hormigón $f_c=300 \text{ kg/cm}^2$						
<b>Proyecto</b>	utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.			<b>Realizado por</b>	Christopher Capelo, Paul Molina	
<b>Cantera</b>	Holcim Pifo			<b>Revisado por</b>	Ing. Lauro Lara	
# Tamiz	Tamiz mm	Masa inicial [g] Masa retenida [g]	Porcentaje Retenido %	Porcentaje retenido acumulado %	Masa Pasante [g]	Porcentaje pasante acumulado %
3/8	9.5	0	0	0	800	100
4	4.75	3	0.375	0.375	797	99.625
8.00	2.36	245.7	30.7125	31.0875	551.3	68.9125
16.00	1.18	206.4	25.8	56.8875	344.9	43.1125
30	0.6	119.3	14.9125	71.8	225.6	28.2
50	0.3	84.2	10.525	82.325	141.4	17.675
100	0.15	47.7	5.9625	88.2875	93.7	11.7125
<b>Masa restante</b>		94.6				

## Granulometría Agregado Fino

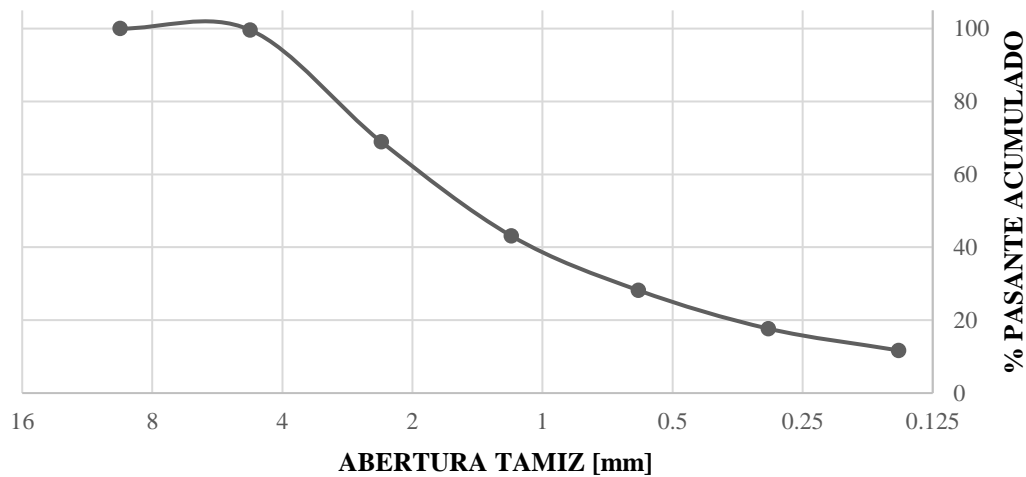


Figura 3.1. Granulometría agregado fino.

### 3.1.2. Peso Unitario

#### **Peso unitario agregado fino compactado**

Fórmula para calcular el peso unitario del agregado fino compactado:

$$P_{uc} = \frac{C - B}{V}$$

*Ecuación 3.1*

Donde:

C = Masa del molde más masa del agregado fino compactado [g]

B = Masa del molde [g]

V = Volumen del molde [cm<sup>3</sup>]

P<sub>uc</sub> = Peso unitario compactado [g/cm<sup>3</sup>]

Tabla 3.2. Peso unitario compactado del agregado fino

<b>Proyecto</b>	Diseño de Hormigón $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$ utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.	<b>Realizado por</b>	Christopher Capelo, Paul Molina
<b>Cantera</b>	Holcim Pifo	<b>Revisado por</b>	Ing. Lauro Lara
<b>Masa molde + agregado fino compactado</b>		10075	g
<b>Masa molde</b>		5050	g
<b>Volumen Molde</b>		2980	$\text{cm}^3$
<b>Peso Unitario compactado</b>		1.686	$\text{g/cm}^3$

*Peso unitario agregado fino suelto*

Fórmula para calcular el peso unitario del agregado fino suelto:

$$P_{us} = \frac{S - B}{V}$$

*Ecuación 3.2*

Donde:

S = Masa del molde más masa del agregado fino suelto [g]

B = Masa del molde [g]

V = Volumen del molde [ $\text{cm}^3$ ]

$P_{us}$  = Peso unitario suelto [ $\text{g/cm}^3$ ]

Tabla 3.3. Peso Unitario Suelto del Agregado Fino

Diseño de Hormigón $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$			
<b>Proyecto</b>	utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.	<b>Realizado por</b>	Christopher Capelo, Paul Molina
<b>Cantera</b>	Holcim Pifo	<b>Revisado por</b>	Ing. Lauro Lara
<b>Masa molde + agregado fino suelto</b>		9595	g
<b>Masa molde</b>		5050	g
<b>Volumen Molde</b>		2980	cm <sup>3</sup>
<b>Peso Unitario suelto</b>		1.525	g/cm <sup>3</sup>

### **3.1.3. Contenido de Humedad**

Fórmula para cálculo de contenido de humedad en porcentaje del agregado fino:

$$W = \frac{Mh - Ms}{Ms} * 100$$

*Ecuación 3.3*

Donde:

W = Contenido de Humedad en porcentaje

Mh = Masa húmeda de la muestra en gramos [g]

Ms = Masa seca de la muestra en gramos [g]

Tabla 3.4. Contenido de humedad agregado fino

<b>Proyecto</b>	Diseño de Hormigón $f_c=300 \text{ kg/cm}^2$		<b>Realizado por</b>	Christopher
	utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.			Capelo, Paul Molina
<b>Cantera</b>	Holcim Pifo		<b>Revisado por</b>	Ing. Lauro Lara
<b>MUESTRA UNO</b>		<b>MUESTRA DOS</b>		
<b>Masa húmeda "Mh"</b>	695 g	<b>Masa húmeda "Mh"</b>	745 g	
<b>Masa seca "Ms"</b>	680 g	<b>Masa seca "Ms"</b>	730 g	
<b>Contenido humedad</b>	2.206 %	<b>Contenido humedad</b>	2.055 %	
<b>Promedio</b>		2.13		%

### 3.1.4. Gravedad específica y absorción

#### **Gravedad específica y absorción del agregado fino.**

Datos necesarios para el cálculo de la gravedad específica y absorción del agregado fino:

A= Masa de la muestra seca.

B= Masa del matraz con agua.

C= Masa de la muestra, el matraz y el agua.

S= Masa de la muestra saturada con superficie seca.

*Gravedad Específica Bulk*

$$GE = \frac{A}{B + S - C}$$

*Ecuación 3.4*

*Gravedad específica saturada con superficie seca*

$$Ges = \frac{S}{B + S - C}$$

Ecuación 3.5

*Gravedad específica aparente*

$$Gea = \frac{A}{B + A - C}$$

Ecuación 3.6

*Porcentaje de absorción*

$$Ab = \frac{S - A}{A} * 100$$

Ecuación 3.7

Tabla 3.5. Gravedad Específica y Absorción (agregado fino)

Diseño de Hormigón $f_c=300 \text{ kg/cm}^2$			
<b>Proyecto</b>	utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.	<b>Realizado por</b>	Christopher Capelo, Paul Molina
<b>Cantera</b>	Holcim Pifo	<b>Revisado por</b>	Ing. Lauro Lara
<b>Masa de la muestra seca (g)</b>			473.5
<b>Masa del matraz con agua (g)</b>			657.7
<b>Masa de la muestra + matraz + agua (g)</b>			963.7
<b>Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)</b>			500
<b>Gravedad específica bulk</b>			2.441
<b>Gravedad específica saturada con superficie seca</b>			2.577
<b>Gravedad específica aparente</b>			2.827
<b>Absorción %</b>			5.597

### 3.1.5. Terrones de Arcilla

Fórmula para calcular el porcentaje de terrones de arcilla en el agregado fino:

$$PT = \frac{Mi - R}{R} * 100$$

*Ecuación 3.8*

Donde:

PT= Porcentaje de terrones de arcilla.

Mi= Masa inicial de la muestra [g]

R= Masa retenida en el tamiz #20 después del lavado [g]

Tabla 3.6. Terrones de Arcilla (Agregado Fino)

Diseño de Hormigón f c=300 kg/cm <sup>2</sup> utilizando cemento		<b>Realizado por</b> Christopher Capelo, Paul Molina
<b>Proyecto</b>	portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.	
<b>Cantera</b>	Holcim Pifo	<b>Revisado por</b> Ing. Lauro Lara
<b>Material retenido en Tamiz N.º 16</b>		
	<b>Masa Inicial (g)</b>	300
	<b>Masa Lavada (g)</b>	296.9
	<b>Porcentaje de arcilla (%)</b>	1.03
	<b>% Permitido NTE INEN 698 (&lt;3%)</b>	cumple

### 3.1.6. Material que pase el tamiz #200

Fórmula para el cálculo del porcentaje del material que pasa el tamiz #200:

$$P = \frac{I - R}{I}$$

*Ecuación 3.9*

Donde:

P= Porcentaje de muestra que pasa por el tamiz #200.

I= Masa inicial de la muestra [g]

R= Masa retenida en el tamiz #200 [g]

Tabla 3.7. Material Fino que Pasa el Tamiz #200

Diseño de Hormigón $f'c=300$ kg/cm <sup>2</sup> utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.		Realizado por	Christopher Capelo, Paul Molina
Cantera	Holcim Pifo	Revisado por	Ing. Lauro Lara
<b>Masa inicial</b>	400		g
<b>Masa final</b>	347.1		g
<b>Porcentaje</b>	<b>13.23</b>		%

### **3.1.7. Equivalente de arena**

Fórmula para el cálculo del equivalente de arena:

$$EA = \frac{LB}{LA} * 100$$

*Ecuación 3.10*

Donde:

EA= Equivalente de Arena.

LA= Lectura A “Suspensión”.

LB= Lectura B “Sedimento”.

Tabla 3.8. Equivalente de Arena

Diseño de Hormigón $f'c=300$			
Proyecto	kg/cm <sup>2</sup> utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.		Realizado por
	Holcim Pifo		Christopher Capelo, Paul Molina
Cantera	Holcim Pifo		Revisado por
			Ing. Lauro Lara
	Lectura B	Lectura A	%
MUESTRA 1	3.9	3.4	87.18
MUESTRA 2	4.3	3.7	86.05
<b>Promedio</b>			86.61

### **3.1.8. Contenido de material orgánico**

Para determinar el contenido orgánico del agregado fino, se debe verificar mediante el ensayo el color normalizado en la escala de Gardner o su equivalente en el número de orden en el comparador. Se verifico para el agregado fino en cuestión que el número de orden en el comparador es “uno”, por lo que se concluye que tiene un bajo contenido orgánico.

### **3.1.9. Desgaste a la acción de los sulfatos**

Fórmulas para cálculo del desgaste a los sulfatos del agregado fino:

*Porcentaje retenido parcial*

$$\%Rp = \frac{\text{Masa retenida parcial}}{\text{Masa total de la muestra}} * 100$$

*Ecuación 3.11*

Donde:

%Rp= Porcentaje retenido parcial

Masa retenida parcial= Masa retenida en tamices respecto a la granulometría original.

Masa total de la muestra= Masa total de la muestra utilizada para el ensayo de granulometría.

*Porcentaje pasante*

$$\%P = \frac{M_i - M_r}{M_i} * 100$$

*Ecuación 3.12*

Donde:

%P= Porcentaje pasante

Mi= Masa inicial

Mr= Masa retenida después del ensayo de desgaste a los sulfatos

*Porcentaje de Desgaste Parcial*

$$\%Dp = \frac{\%Rp * \%P}{100}$$

*Ecuación 3.13*

Donde:

%Dp= Porcentaje de desgaste parcial

%Rp= Porcentaje retenido parcial

%P= Porcentaje pasante

*Porcentaje de Desgaste Total*

$$\%Dt = \sum \%Dp$$

*Ecuación 3.14*

%Dt= Porcentaje de desgaste total de los agregados el cual es igual a la suma de porcentajes de desgaste parcial.

Tabla 3.9. Desgaste a los Sulfatos (Agregado Fino)

<b>Proyecto</b>		Diseño de Hormigón $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$ utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.		<b>Realizado por</b>		Christopher Capelo, Paul Molina	
<b>Cantera</b>		Holcim Pifo		<b>Revisado por</b>		Ing. Lauro Lara	
<b># TAMIZ</b>	<b>Masa Antes del Ensayo</b>	<b>Masa Después del Ensayo</b>	<b>% Retenido Parcial del agregado</b>	<b>% que pasa</b>	<b>% desgaste parcial</b>		
<b>Pasa</b>	<b>Retiene</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>%</b>	<b>%</b>		
30	50	100 g	83.94 g	10.53	16.9	1.69	
16	30	100 g	91.7 g	14.91	10.3	1.24	
8	16	100 g	90.1 g	25.8	9.9	2.55	
4	8	100 g	86.76 g	30.71	16.2	4.07	
<b>Porcentaje desgaste total %</b>						<b>9.55</b>	

### 3.2. Ensayos agregados grueso

#### 3.2.1. Granulometría

Tabla 3.10. Granulometría Agregado Grueso

Diseño de Hormigón $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$						
<b>Proyecto</b>	utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.			<b>Realizado por</b>	Christopher Capelo, Paul Molina	
<b>Cantera</b>	Holcim Pifo			<b>Revisado por</b>	Ing. Lauro Lara	
Masa inicial [Kg]		10	Porcentaje retenido acumulado		Masa Pasante [Kg]	Porcentaje pasante acumulado
# Tamiz	Tamiz mm	Masa retenida [kg]	Porcentaje Retenido %	%	[Kg]	%
1 1/2	37.5	0	0	0	10	100
1	25	0	0	0	10	100
0.75	19.00	1.1	11	11	8.9	89
0.50	12.50	4.825	48.25	59.25	4.075	40.75
0.375	9.5	1.915	19.15	78.4	2.16	21.6
4	4.75	1.84	18.4	96.8	0.32	3.2

## Granulometría Agregado Grueso

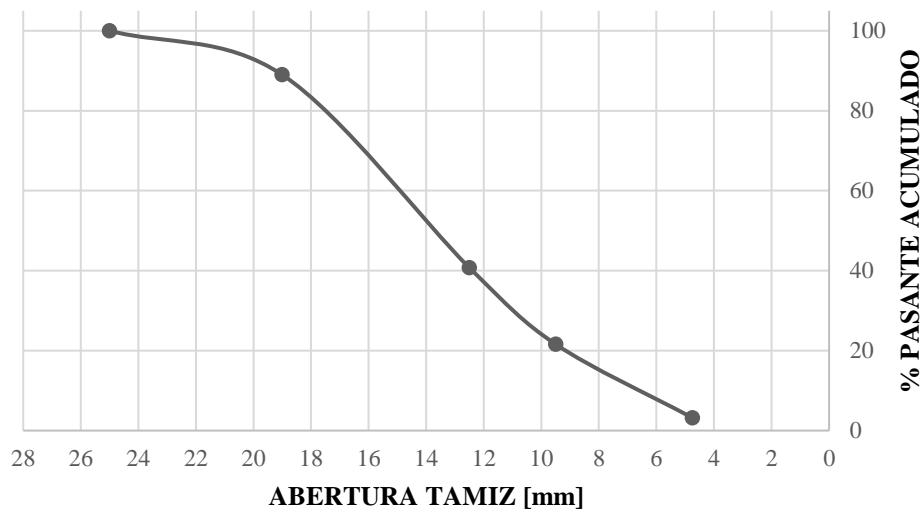


Figura 3.2. Granulometría agregado grueso.

### 3.2.2. Peso Unitario

*Peso unitario agregado grueso compactado*

Fórmula para calcular el peso unitario del agregado grueso compactado:

$$Puc = \frac{C - B}{V}$$

*Ecuación 3.15*

Donde:

C = Masa del molde más masa del agregado grueso compactado

B = Masa del molde

V = Volumen del molde

Puc = Peso unitario compactado

Tabla 3.11. Peso Unitario Compactado (agregado grueso)

Diseño de Hormigón $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$			
<b>Proyecto</b>	utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.	<b>Realizado por</b>	Christopher Capelo, Paul Molina
<b>Cantera</b>	Holcim Pifo	<b>Revisado por</b>	Ing. Lauro Lara
<b>Masa molde + agregado grueso compactado</b>		22515	g
<b>Masa molde</b>		8530	g
<b>Volumen Molde</b>		9950	cm <sup>3</sup>
<b>Peso Unitario compactado</b>		1.406	g/cm <sup>3</sup>

*Peso unitario agregado grueso suelto*

Fórmula para calcular el peso unitario del agregado grueso suelto:

$$P_{us} = \frac{S - B}{V}$$

*Ecuación 3.16*

Donde:

S = Masa del molde más masa del agregado grueso suelto [g]

B = Masa del molde [g]

V = Volumen del molde [cm<sup>3</sup>]

P<sub>us</sub> = Peso unitario suelto [g/cm<sup>3</sup>]

Tabla 3.12. Peso Unitario Suelto (agregado grueso)

<b>Proyecto</b>	Diseño de Hormigón $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$ utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.	<b>Realizado por</b>	Christopher Capelo, Paul Molina
<b>Cantera</b>	Holcim Pifo	<b>Revisado por</b>	Ing. Lauro Lara
	<b>Masa molde + agregado grueso suelto</b>	21660	g
	<b>Masa molde</b>	8530	g
	<b>Volumen Molde</b>	9950	$\text{cm}^3$
	<b>Peso Unitario suelto</b>	1.320	$\text{g/cm}^3$

### 3.2.3. Contenido de humedad natural

Fórmula para cálculo de contenido de humedad en porcentaje del agregado grueso:

$$W = \frac{Mh - Ms}{Ms} * 100$$

*Ecuación 3.17*

Donde:

W = Contenido de Humedad en porcentaje

Mh = Masa húmeda de la muestra en gramos [g]

Ms = Masa seca de la muestra en gramos [g]

Tabla 3.13. Contenido de Humedad (agregado grueso)

<b>Proyecto</b>	Diseño de Hormigón $f_c=300 \text{ kg/cm}^2$		<b>Realizado por</b>	Christopher
	utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.			Capelo, Paul Molina
<b>Cantera</b>	Holcim Pifo		<b>Revisado por</b>	Ing. Lauro Lara
<b>MUESTRA UNO</b>		<b>MUESTRA DOS</b>		
<b>Masa húmeda "Mh"</b>	1310 g	<b>Masa húmeda "Mh"</b>	1440 g	
<b>Masa seca "Ms"</b>	1290 g	<b>Masa seca "Ms"</b>	1420 g	
<b>Contenido humedad</b>	1.550 %	<b>Contenido humedad</b>	1.408 %	
<b>Promedio</b>		1.48		%

### **3.2.4. Gravedad Especifica**

*Gravedad específica y absorción del agregado grueso.*

Datos necesarios para el cálculo de la gravedad específica y absorción del agregado grueso:

A= Masa de la muestra seca.

B= Masa de la muestra saturada con superficie seca.

C= Masa de la muestra sumergida en agua.

*Gravedad específica Bulk.*

$$Ge = \frac{A}{B - C}$$

*Ecuación 3.18*

*Gravedad específica saturada con superficie seca.*

$$Ges = \frac{B}{B - C}$$

*Ecuación 3.19*

*Gravedad específica aparente.*

$$Gea = \frac{A}{A - C}$$

Ecuación 3.20

Porcentaje de Absorción.

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

Ecuación 3.21

Tabla 3.14. Gravedad Específica y Absorción (agregado grueso)

<b>Proyecto</b>	Diseño de Hormigón f'c=300 kg/cm <sup>2</sup> utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.	<b>Realizado por</b>	Christopher Capelo, Paul Molina
<b>Cantera</b>	Holcim Pifo	<b>Revisado por</b>	Ing. Lauro Lara
<b>Masa de la muestra seca (g)</b>			3890.9
<b>Masa de la muestra saturada con superficie seca (g)</b>			4000
<b>Masa muestra sumergida en agua (g)</b>			2386
<b>Gravedad específica Bulk</b>			2.411
<b>Gravedad específica con superficie seca</b>			2.478
<b>Gravedad específica aparente</b>			2.585
<b>Absorción %</b>			2.804

### **3.2.5. Terrones de Arcilla**

*Terrones de arcilla en agregado grueso.*

Fórmula para calcular el porcentaje de terrones de arcilla en el agregado grueso:

$$PT = \frac{Mi - Mr}{Mr} * 100$$

Ecuación 3.22

Donde:

PT= Porcentaje de terrones de arcilla.

Mi= Masa inicial de la muestra [g]

Mr= Masa retenida en el tamiz después del lavado [g]

Tabla 3.15. Terrones de Arcilla en los Agregados Naturales (agregado grueso)

<b>Proyecto</b>		Diseño de Hormigón f'c=300 kg/cm <sup>2</sup> utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.		<b>Realizado por</b>		Christopher Capelo, Paul Molina	
<b>Cantera</b>		Holcim Pifo		<b>Revisado por</b>		Ing. Lauro Lara	
<b># Tamiz pasa</b>	<b>retiene</b>	<b>Masa Inicial</b>	<b>Masa Lavada</b>	<b>% parcial de arcilla</b>	<b>% permitido NTE INEN 698 (&lt; 5%)</b>		
3/8	4	1000 g	999 g	0.1		Cumple	
1/2	3/8	1000 g	999.1 g	0.09		Cumple	
3/4	1/2	1000 g	998.5 g	0.15		Cumple	
1 1/2	3/4	1000 g	997.6 g	0.24		Cumple	

### 3.2.6. Desgaste del agregado en la máquina de los ángeles

Fórmula para cálculo de desgaste del agregado grueso en la máquina de los ángeles

$$\%Desgaste = \frac{C}{A} * 100$$

*Ecuación 3.23*

Donde:

A = Masa inicial de la muestra en gramos [g]

B = Masa de la muestra retenida en el tamiz número doce [g]

C= Masa de la muestra que pasa el tamiz número doce [g]

$$C = A - B$$

*Ecuación 3.24*

Tabla 3.16. Desgaste Agregado Grueso en la Máquina de los Ángeles

Diseño de Hormigón $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$			
<b>Proyecto</b>	utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.	<b>Realizado por:</b>	Christopher Capelo, Paul Molina
<b>Cantera</b>	Holcim Pifo	<b>Revisado por:</b>	Ing. Lauro Lara
<b>Gradación material</b>			Tipo "B"
<b>Masa inicial "A"</b>		5000	g
<b>Masa retenida tamiz #12 "B"</b>		3695	g
<b>Masa que pasa tamiz #12 "C"</b>		1305	g
<b>Porcentaje desgaste</b>		26.10	%
			<50%
	<b>Porcentaje permitido por la norma NTE INEN 860</b>		<b>cumple</b>

### 3.2.7. Desgaste a los sulfatos

*Desgaste del agregado grueso a los sulfatos.*

Fórmulas para cálculo del desgaste a los sulfatos del agregado grueso:

#### Porcentaje retenido parcial

$$\%Rp = \frac{\text{Masa retenida parcial}}{\text{Masa total de la muestra}} * 100$$

*Ecuación 3.25*

Donde:

%Rp= Porcentaje retenido parcial

Masa retenida parcial= Masa retenida en tamices respecto a la granulometría original.

Masa total de la muestra= Masa total de la muestra utilizada para el ensayo de granulometría.

### Porcentaje pasante

$$\%P = \frac{Mi - Mr}{Mi} * 100$$

*Ecuación 3.26*

Donde:

%P= Porcentaje pasante

Mi= Masa inicial

Mr= Masa retenida después del ensayo de desgaste a los sulfatos

### Porcentaje de Desgaste Parcial

$$\%Dp = \frac{\%Rp * \%P}{100}$$

*Ecuación 3.27*

Donde:

%Dp= Porcentaje de desgaste parcial

%Rp= Porcentaje retenido parcial

%P= Porcentaje pasante

### Porcentaje de Desgaste Total

$$\%Dt = \sum \%Dp$$

*Ecuación 3.28*

%Dt= Porcentaje de desgaste total de los agregados el cual es igual a la suma de porcentajes de desgaste parcial.

Tabla 3.17. Desgaste a los Sulfatos Agregado Grueso

<b>Proyecto</b>		Diseño de Hormigón $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$ utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido.				<b>Realizado por:</b>	Christopher Capelo, Paul Molina		
<b>Cantera</b>		Holcim Pifo				<b>Revisado por:</b>	Ing. Lauro Lara		
# TAMIZ		Masa		Masa		% Retenido Parcial del agregado	% que pasa	% desgaste parcial	
Pasa	Retiene	Masa Antes del Ensayo	Después del Ensayo	g	G				
1	¾	500	g	495	G	11.05	1.00	0.11	
3/4	½	670	g	655	G	46.45	2.24	1.04	
1/2	3/8	330	g	320	G	18.85	3.03	0.57	
3/8	4	300	g	295	G	19.2	1.67	0.32	
<b>Porcentaje desgaste total %</b>								2.04	

### 3.3. Ensayo Cemento

#### 3.3.1. Finura del cemento

La finura Blaine del cemento se calcula con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{Ss\sqrt{T}}{\sqrt{Ts}}$$

*Ecuación 3.29*

Donde:

S= Superficie específica del cemento, [m<sup>2</sup>/kg].

Ss= Superficie específica de la muestra normalizada para calibrar el equipo, [m<sup>2</sup>/kg].

Ts= Tiempo de caída del manómetro para muestra normalizada, [s].

T= Tiempo de caída del manómetro para muestra ensayada, [s].

Tabla 3.18. Finura Blaine del cemento

Diseño de hormigón f'c=300 kg/cm <sup>2</sup> utilizando cemento			
<b>Proyecto</b>	portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido	<b>Realizado por</b>	Christopher Capelo, Paul Molina
<b>Marca</b>	Holcim Tipo GU	<b>Revisado por</b>	Ing. Lauro Lara
<b>Muestra</b>	<b>Tiempo caída manómetro</b>	<b>Finura</b>	<b>Comprobación NTE INEN 196</b>
<b>N.º</b>	<b>[S]</b>	<b>[m<sup>2</sup>/kg]</b>	<b>Rango 260-430</b>
1	95	398.21	cumple
2	99	406.51	cumple
3	96	400.30	cumple
<b>Promedio</b>	96.67	401.69	cumple

### 3.3.2. Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado inicial por el método Vicat se calcula con la siguiente fórmula:

$$Ti = \left( \frac{H - E}{C - D} * (C - 25) \right) + E$$

*Ecuación 3.30*

Donde:

E= Tiempo última penetración mayor que 25 mm, [min].

H= Tiempo primera penetración menor que 25 mm, [min].

C= Penetración en milímetros del tiempo E, [mm].

D= Penetración en milímetros del tiempo H, [mm].

Tabla 3.19. Tiempo Inicial de Fraguado Método Vicat

Diseño de hormigón $f'c=300$ kg/cm <sup>2</sup> utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido		<b>Realizado por</b>	Christopher Capelo, Paul Molina
<b>Marca</b>	Holcim Tipo GU	<b>Revisado por</b>	Ing. Lauro Lara
<b>E=Tiempo ultima penetración mayor que 25 mm, [min]</b>			138
<b>H= Tiempo primera penetración menor que 25 mm, [min]</b>			153
<b>C= Penetración tiempo E [mm]</b>			27
<b>D= Penetración tiempo H [mm]</b>			23
<b>Tiempo de fraguado inicial [min]</b>			146

El tiempo final de fraguado del método Vicat se toma en cuenta desde la mezcla del cemento y el agua, hasta cuando la aguja no marca la muestra de pasta de cemento (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2009).

Tabla 3.20. Tiempo de Fraguado Método Vicat

	Diseño de hormigón		
	f'c=300 kg/cm <sup>2</sup>		
<b>Proyecto</b>	utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido	<b>Realizado por</b>	Christopher Capelo, Paul Molina
<b>Marca</b>	Holcim Tipo GU	<b>Revisado por</b>	Ing. Lauro Lara
	<b>Tiempo de fraguado inicial [min]</b>		146
	<b>Tiempo fraguado Final [min]</b>		228
	<b>Cumplimiento ASTM C595 (entre 45 y 420 min)</b>		Cumple

### **3.3.3. Gravedad específica del cemento**

Los datos necesarios para el cálculo de la gravedad específica del cemento son los siguientes:

M= Masa del cemento [g]

Volumen inicial= Vi [cm<sup>3</sup>]

Volumen final= Vf [cm<sup>3</sup>]

Gc= Gravedad específica del cemento [g/cm<sup>3</sup>]

Fórmula de cálculo de gravedad específica del cemento:

$$G_c = \frac{M}{V_f - V_i}$$

*Ecuación 3.31*

Tabla 3.21. Gravedad Específica del Cemento

Diseño de hormigón f'c=300 kg/cm <sup>2</sup> utilizando cemento			
<b>Proyecto</b>	portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido	<b>Realizado por</b>	Christopher Capelo, Paul Molina
<b>Marca</b>	Holcim Tipo GU	<b>Revisado por</b>	Ing. Lauro Lara
<b>Muestra</b>		1	2
<b>Masa del cemento [g]</b>		64	64
<b>Volumen Inicial [cm<sup>3</sup>]</b>		0.5	0.2
<b>Volumen Final [cm<sup>3</sup>]</b>		22.4	22.3
<b>Gravedad específica del cemento [g/cm<sup>3</sup>]</b>		2.92	2.90
<b>Promedio</b>		2.91	

### 3.3.4. Compresión de morteros

Para el cálculo de la resistencia a la compresión de morteros se utiliza la siguiente ecuación:

$$R = \frac{C}{A}$$

*Ecuación 3.32*

Donde:

R= Resistencia, [MPa]

C= Carga, [N].

A= Área, [mm<sup>2</sup>].

Tabla 3.22. Compresión de Morteros

<b>Proyecto</b>		Diseño de hormigón f'c=300 kg/cm2 utilizando cemento portland con adición de bagazo de caña para el uso en pavimento rígido			<b>Realizado por</b>	Christopher Capelo, Paul Molina	
<b>Marca</b>		Holcim Tipo GU			<b>Revisado por</b>	Ing. Lauro Lara	
<b>Muestra</b>	<b>Día de ensayo</b>	<b>Alto [mm]</b>	<b>Ancho [mm]</b>	<b>Largo [mm]</b>	<b>Carga [N]</b>	<b>Resistencia [MPa]</b>	<b>Comprobación ASTM C 595</b>
1	Tercero	50.2	50	50.1	36200	14.45	cumple
2	Tercero	50.1	50.3	50	34400	13.68	cumple
3	Séptimo	50.1	50.2	50.1	51950	20.66	cumple
4	Séptimo	50.2	50.2	50.3	51300	20.32	cumple

### 3.4. Determinación del Diseño de Hormigón

Para una dosificación de  $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$  con un asentamiento para pavimento rígido se encuentra entre 7.5 cm y 2.5 cm; el asentamiento elegido es de 7.5 cm.

Las características de los materiales para la dosificación son las siguientes:

Tabla 3.23. Características de los Materiales para la Dosificación.

<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES</b>		
<b>Absorción Agregado Fino</b>	5.60	%
<b>Absorción Agregado Grueso</b>	2.80	%
<b>Humedad Agregado Fino</b>	2.13	%
<b>Humedad Agregado Grueso</b>	1.47	%
<b>Gravedad de los Agregados</b>	2.52	-
<b>Gravedad del Concreto</b>	2.95	-
<b>Tamaño Máximo Nominal</b>	19.10	mm

\*La humedad del agregado fino y grueso depende de las condiciones climáticas y de las características física. Este valor puede variar en cada dosificación.

El agua neta definida es de  $198 \text{ kg/m}^3$ , con un porcentaje de aire de 1.5%.

El factor de seguridad es de 3%, dado las condiciones del lugar donde se realiza la dosificación.

La relación agua/cemento se define con el valor de 0.43, determinado de acuerdo con una serie de dosificaciones para obtener la dosificación el  $f'c$  de  $300 \text{ kg/cm}^2$ .

El peso unitario del hormigón de las muestras de hormigón al 0%, es de  $2250 \text{ kg/cm}^3$ , este valor se calculará de acuerdo con la masa y volumen de cada cilindro.

Los agregados saturados con superficie seca tienen un peso de  $1581 \text{ kg/m}^3$

Se establece el porcentaje de agregado grueso con relación al agregado fino, el agregado fino varía entre 35% a 50%.

La mina de Pifo al presenta buenas condiciones de agregados tanto fino como grueso consideramos 51% de fino y 49% de grueso, esto se debe a sus características físicas.

### 3.5. Ensayos de Hormigón

#### 3.5.1. Determinación de la relación agua/cemento

Tabla 3.24. Dosificación para una relación agua/cemento de 0.45

<b>Número de Cilindro</b>	1	2	3
<b>Fecha de Fabricación</b>	29/8/2021	29/8/2021	29/8/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	27/9/2021	27/9/2021	27/9/2021
<b>Relación a/c</b>	0.45	0.45	0.45
<b>Edad de la Muestra (días)</b>	28	28	28
<b>Desviación de la Superficie de Carga (mm)</b>	0.35	0.30	0.35
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	148.49	153.85	151.68
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	149.01	153.69	151.74
<b>Altura 1 (mm)</b>	303.13	307.61	300.44
<b>Altura 2 (mm)</b>	302.25	307.03	299.80
<b>Altura 3 (mm)</b>	302.09	306.67	300.38
<b>Masa (Kg)</b>	11.83	12.77	11.89
<b>Carga máxima (KN)</b>	493.80	528.10	510.30
<b>Altura Promedio (mm)</b>	302.49	307.10	300.21
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	148.75	153.77	151.71
<b>Área Promedio (mm<sup>2</sup>)</b>	17378.16	18570.91	18076.66
<b>Resistencia (MPa)</b>	28.41	28.44	28.23
<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	289.75	289.98	287.86
<b>Tipo de falla</b>	V	V	V

Tabla 3.25. Dosificación para una relación agua/cemento de 0.4

<b>Número de Cilindro</b>	1	2	3
<b>Fecha de Fabricación</b>	29/8/2021	29/8/2021	29/8/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	27/9/2021	27/9/2021	27/9/2021
<b>Relación a/c</b>	0.4	0.4	0.4
<b>Edad de la Muestra (días)</b>	28	28	28
<b>Desviación de la Superficie de Carga (mm)</b>	0.30	0.35	0.30
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	152.08	151.41	150.12
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	152.46	151.73	150.97
<b>Altura 1 (mm)</b>	307.00	301.30	302.05
<b>Altura 2 (mm)</b>	307.00	300.27	301.34
<b>Altura 3 (mm)</b>	307.00	301.86	300.28
<b>Masa (Kg)</b>	12.38	12.14	12.01
<b>Carga máxima (KN)</b>	565.71	557.50	551.42
<b>Altura Promedio (mm)</b>	307.00	301.14	301.22
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	152.27	151.57	150.55
<b>Área Promedio (mm<sup>2</sup>)</b>	18210.36	18043.32	17800.10
<b>Resistencia (MPa)</b>	31.07	30.90	30.98
<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	316.78	315.07	315.89
<b>Tipo de falla</b>	V	V	v

Tabla 3.26. Dosificación para una relación agua/cemento de 0.37

<b>Número de Cilindro</b>	1	2	3
<b>Fecha de Fabricación</b>	29/8/2021	29/8/2021	29/8/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	27/9/2021	27/9/2021	27/9/2021
<b>Relación a/c</b>	0.37	0.37	0.37
<b>Edad de la Muestra (días)</b>	28	28	28
<b>Desviación de la Superficie de Carga (mm)</b>	0.35	0.30	0.35
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	150.52	150.92	153.37
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	150.47	151.34	153.01
<b>Altura 1 (mm)</b>	302.46	301.04	306.84
<b>Altura 2 (mm)</b>	302.56	301.36	307.36
<b>Altura 3 (mm)</b>	302.56	301.15	307.06
<b>Masa (Kg)</b>	12.04	12.19	12.73
<b>Carga máxima (KN)</b>	576.41	580.40	593.7
<b>Altura Promedio (mm)</b>	302.53	301.18	307.09
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	150.50	151.13	153.19
<b>Área Promedio (mm<sup>2</sup>)</b>	17788.28	17938.71	18431.08
<b>Resistencia (MPa)</b>	32.40	32.35	32.21
<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	330.43	329.93	328.47
<b>Tipo de falla</b>	V	V	IV

La grafica determina la relación agua/cemento óptimo para obtener la resistencia deseada

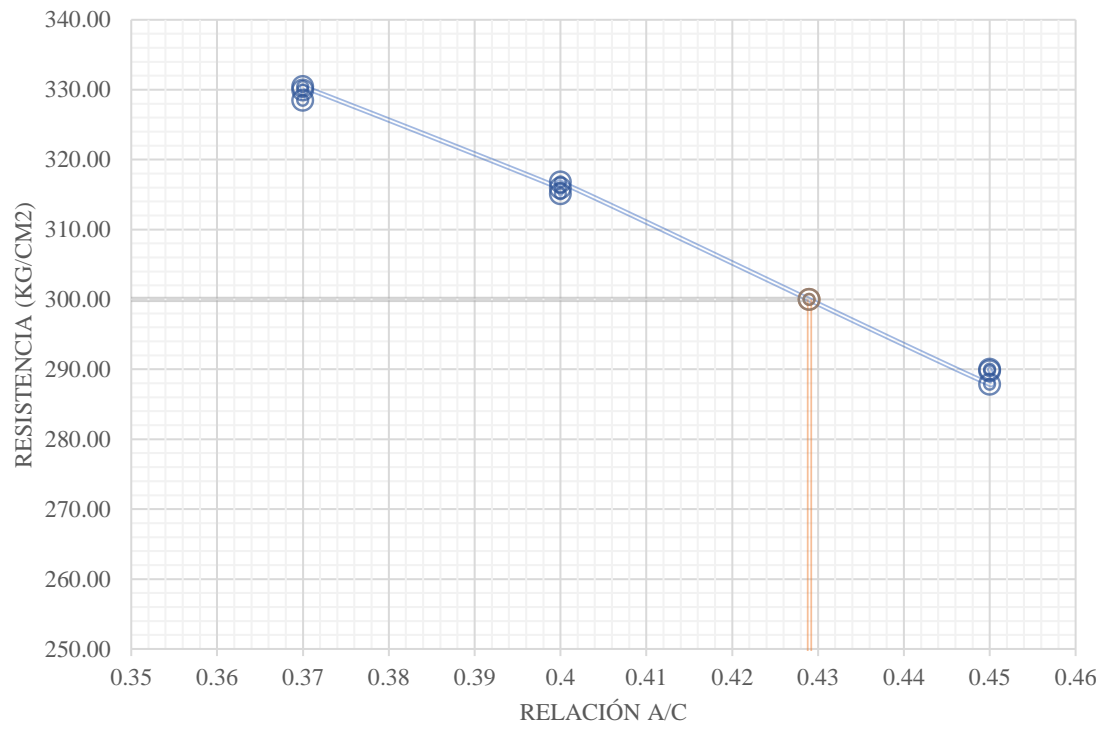


Figura 3.3. Determinación de relación agua cemento.

**3.5.2. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos**

Tabla 3.27. Resultados de compresión simple de dosificación con el 0% de fibra

<b>Porcentaje de fibra</b>	0%		
<b>Número de Cilindro</b>	1	2	3
<b>Fecha de Fabricación</b>	29/9/2021	29/9/2021	29/9/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	27/10/2021	27/10/2021	27/10/2021
<b>Edad de la Muestra (días)</b>	28	28	28
<b>Desviación de la Superficie de Carga (mm)</b>	0.35	0.30	0.35
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	153.40	151.23	153.92
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	154.00	152.07	152.93
<b>Altura 1 (mm)</b>	305.00	302.00	305.31
<b>Altura 2 (mm)</b>	306.00	302.00	304.92
<b>Altura 3 (mm)</b>	305.00	301.00	305.09
<b>Masa (Kg)</b>	12.90	12.24	12.92
<b>Carga máxima (KN)</b>	567.79	569.10	570.2
<b>Altura Promedio (mm)</b>	305.33	301.67	305.11
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	153.70	151.65	153.43
<b>Área Promedio (mm<sup>2</sup>)</b>	18554.00	18062.37	18487.67
<b>Resistencia (MPa)</b>	30.60	31.51	30.84
<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	312.05	321.29	314.50
<b>Tipo de falla</b>	V	V	V
<b>f'c promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	315.95		
<b>Desviación Estándar</b>	4.78		
<b>f'c característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	309.54		

Tabla 3.28. Resultados de compresión simple de dosificación con el 1% de fibra

<b>Porcentaje de fibra</b>	1%		
<b>Número de Cilindro</b>	1	2	3
<b>Fecha de Fabricación</b>	20/10/2021	20/10/2021	20/10/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	17/11/2021	17/11/2021	17/11/2021
<b>Edad de la Muestra (días)</b>	28	28	28
<b>Desviación de la Superficie de Carga (mm)</b>	0.30	0.35	0.30
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	152.08	151.41	150.12
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	152.46	151.73	150.97
<b>Altura 1 (mm)</b>	307.00	301.30	302.05
<b>Altura 2 (mm)</b>	307.00	300.27	301.34
<b>Altura 3 (mm)</b>	307.00	301.86	300.28
<b>Masa (Kg)</b>	12.38	12.14	12.01
<b>Carga máxima (KN)</b>	435.80	407.40	420.40
<b>Altura Promedio (mm)</b>	307.00	301.14	301.22
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	152.27	151.57	150.55
<b>Área Promedio (mm<sup>2</sup>)</b>	18210.36	18043.32	17800.10
<b>Resistencia (MPa)</b>	23.93	22.58	23.62
<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	244.03	230.24	240.84
<b>Tipo de falla</b>	V	V	v
<b>f'c promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	238.37		
<b>Desviación Estándar</b>	7.22		
<b>f'c característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	228.70		

Tabla 3.29. Resultados de compresión simple de dosificación con el 3% de fibra

<b>Porcentaje de fibra</b>	<b>3%</b>			
<b>Número de Cilindro</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Fecha de Fabricación</b>	26/10/20	26/10/20	26/10/20	26/10/20
	21	21	21	21
<b>Fecha de Ensayo</b>	23/11/20	23/11/20	23/11/20	23/11/20
	21	21	21	21
<b>Edad de la Muestra (días)</b>	28	28	28	28
<b>Desviación de la Superficie de Carga (mm)</b>	0.35	0.30	0.35	0.30
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	153.74	150.10	153.99	154.35
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	153.29	149.81	154.24	152.08
<b>Altura 1 (mm)</b>	305.76	301.49	305.05	306.14
<b>Altura 2 (mm)</b>	304.82	302.85	305.30	305.87
<b>Altura 3 (mm)</b>	305.95	300.77	304.15	306.17
<b>Masa (Kg)</b>	12.36	11.75	12.46	12.35
<b>Carga máxima (KN)</b>	385.00	373.70	390.20	400.16
<b>Altura Promedio (mm)</b>	305.51	301.70	304.83	306.06
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	153.52	149.96	154.12	153.22
<b>Área Promedio (mm<sup>2</sup>)</b>	18509.36	17660.86	18654.33	18437.09
<b>Resistencia (MPa)</b>	20.80	21.16	20.92	21.70
<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	212.10	215.77	213.30	221.32
<b>Tipo de falla</b>	V	V	IV	V
<b>f'c promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	215.62			
<b>Desviación Estándar</b>	5.60			
<b>f'c característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	208.13			

Tabla 3.30. Resultados de compresión simple de dosificación con el 5% de fibra

<b>Porcentaje de fibra</b>	<b>5%</b>			
<b>Número de Cilindro</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Fecha de Fabricación</b>	10/11/2021	10/11/2021	10/11/2021	10/11/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	8/12/2021	8/12/2021	8/12/2021	8/12/2021
<b>Edad de la Muestra (días)</b>	28	28	28	28
<b>Desviación de la Superficie de Carga (mm)</b>	0.35	0.30	0.30	0.35
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	153.33	150.75	151.71	152.26
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	153.12	150.03	151.55	151.56
<b>Altura 1 (mm)</b>	304.66	300.58	304.11	303.64
<b>Altura 2 (mm)</b>	305.24	301.35	304.16	303.32
<b>Altura 3 (mm)</b>	304.82	300.06	304.35	302.97
<b>Masa (Kg)</b>	12.19	11.33	11.82	11.82
<b>Carga máxima (KN)</b>	292.40	272.40	273.70	295.78
<b>Altura Promedio (mm)</b>	304.91	300.66	304.21	303.31
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	153.23	150.39	151.63	151.91
<b>Área Promedio (mm<sup>2</sup>)</b>	18439.50	17763.47	18057.61	18124.36
<b>Resistencia (MPa)</b>	15.86	15.33	15.16	16.32
<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	161.70	156.37	154.56	166.41
<b>Tipo de falla</b>	V	V	V	V
<b>f'c promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>				159.76
<b>Desviación Estándar</b>				6.58
<b>f'c característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>				150.95

Tabla 3.31. Resultados de compresión simple de dosificación con el 6% de la fibra

<b>Porcentaje de fibra</b>	6%		
<b>Número de Cilindro</b>	1	2	3
<b>Fecha de Fabricación</b>	18/11/2021	18/11/2021	18/11/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	16/12/2021	16/12/2021	16/12/2021
<b>Edad de la Muestra (días)</b>	28	28	28
<b>Desviación de la Superficie de Carga (mm)</b>	0.30	0.35	0.35
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	153.60	150.41	153.77
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	153.94	151.72	153.46
<b>Altura 1 (mm)</b>	303.58	304.32	303.53
<b>Altura 2 (mm)</b>	302.98	304.40	303.59
<b>Altura 3 (mm)</b>	304.64	304.25	303.40
<b>Masa (Kg)</b>	11.72	11.76	11.86
<b>Carga máxima (KN)</b>	214.50	220.50	230.50
<b>Altura Promedio (mm)</b>	303.73	304.32	303.51
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	153.77	151.07	153.62
<b>Área Promedio (mm<sup>2</sup>)</b>	18570.91	17923.28	18533.49
<b>Resistencia (MPa)</b>	11.55	12.30	12.44
<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	117.78	125.45	126.82
<b>Tipo de falla</b>	V	V	V
<b>f'c promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	123.35		
<b>Desviación Estándar</b>	4.87		
<b>f'c característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	116.82		

Ensayo de Compresión simple, en los ejes se puede ver la resistencia contra el porcentaje de bagazo de caña en la mezcla de hormigón respecto al peso del cemento.

Las curvas muestran la comparación de la resistencia característica, con la resistencia promedio.

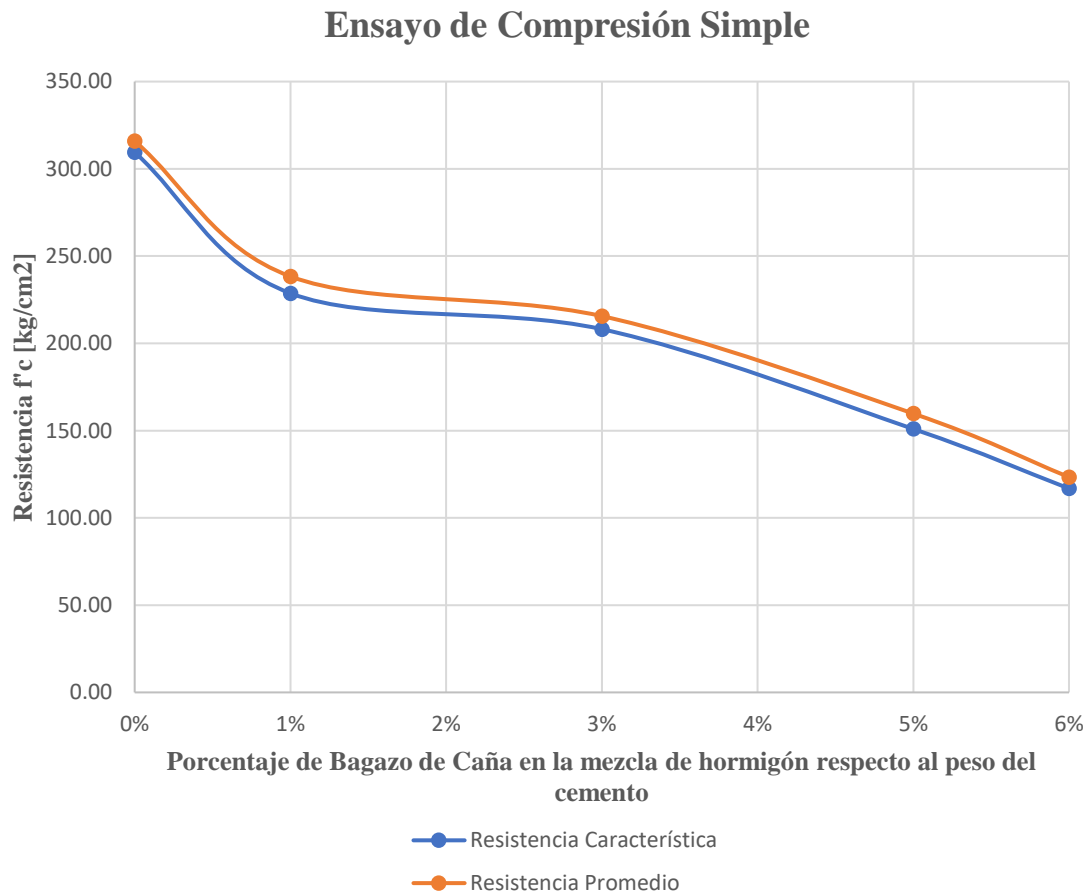


Figura 3. 4. Resultados ensayo de compresión simple.

### **3.5.3. Determinación de la resistencia a la tracción por flexión**

Tabla 3.32. Resultados de tracción por flexión de dosificación con el 0% de la fibra

<b>Porcentaje de fibra</b>	<b>0%</b>			
<b>Número de viga</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Fecha de Fabricación</b>	29/9/2021	29/9/2021	29/9/2021	29/9/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	27/10/2021	27/10/2021	27/10/2021	27/10/2021
<b>Longitud de la viga (mm)</b>	537.00	560.00	534.00	535.00
<b>Ancho (mm)</b>	149.00	153.00	149.00	150.00
<b>Altura (mm)</b>	150.00	150.00	152.00	153.00
<b>Longitud del apoyo (mm)</b>	450.00	450.00	450.00	450.00
<b>Masa (Kg)</b>	27.97	29.75	27.80	27.76
<b>Carga máxima (KN)</b>	36.25	40.20	35.54	35.74
<b>Resistencia a la flexión (MPa)</b>	4.87	5.25	4.65	4.58
<b>Resistencia a la flexión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	49.62	53.59	47.37	46.71
<b>f'c promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	49.32			
<b>Desviación Estándar</b>	2.14			
<b>f'c característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	46.46			

Tabla 3.33. Resultados de tracción por flexión de dosificación con el 1% de la fibra

<b>Porcentaje de fibra</b>	<b>1%</b>			
<b>Número de viga</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Fecha de Fabricación</b>	20/10/2021	20/10/2021	20/10/2021	20/10/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	17/11/2021	17/11/2021	17/11/2021	17/11/2021
<b>Longitud de la viga (mm)</b>	533.00	534.50	541.00	534.00
<b>Ancho (mm)</b>	152.00	152.00	152.00	152.00
<b>Altura (mm)</b>	153.00	150.00	154.00	154.00
<b>Longitud del apoyo (mm)</b>	450.00	450.00	450.00	450.00
<b>Masa (Kg)</b>	27.20	27.78	27.83	27.86
<b>Carga máxima (KN)</b>	33.41	34.91	34.72	34.54
<b>Resistencia a la flexión (MPa)</b>	4.23	4.59	4.33	4.31
<b>Resistencia a la flexión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	43.09	46.84	44.2	43.97
<b>f'c promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>				44.52
<b>Desviación Estándar</b>				1.52
<b>f'c característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>				42.48

Tabla 3.34. Resultados de tracción por flexión de dosificación con el 3% de la fibra

<b>Porcentaje de fibra</b>	<b>3%</b>			
<b>Número de viga</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Fecha de Fabricación</b>	26/10/2021	26/10/2021	26/10/2021	26/10/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	23/11/2021	23/11/2021	23/11/2021	23/11/2021
<b>Longitud de la viga (mm)</b>	535.00	535.00	535.00	563.00
<b>Ancho (mm)</b>	151.00	153.00	150.00	154.00
<b>Altura (mm)</b>	150.00	152.00	150.00	155.00
<b>Longitud del apoyo (mm)</b>	450.00	450.00	450.00	450.00
<b>Masa (Kg)</b>	27.86	26.70	26.89	29.31
<b>Carga máxima (KN)</b>	27.25	30.55	30.02	28.97
<b>Resistencia a la flexión (MPa)</b>	3.61	3.89	4.00	3.52
<b>Resistencia a la flexión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	36.81	39.66	40.82	35.93
<b>f'c promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>				38.30
<b>Desviación Estándar</b>				1.97
<b>f'c característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>				35.67

Tabla 3.35. Resultados de tracción por flexión de dosificación con el 5% de la fibra

<b>Porcentaje de fibra</b>	<b>5%</b>			
<b>Número de viga</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Fecha de Fabricación</b>	10/11/2021	10/11/2021	10/11/2021	10/11/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	8/12/2021	8/12/2021	8/12/2021	8/12/2021
<b>Longitud de la viga (mm)</b>	535.00	555.00	539.00	557.00
<b>Ancho (mm)</b>	150.00	153.00	153.00	154.00
<b>Altura (mm)</b>	154.00	153.00	150.00	150.00
<b>Longitud del apoyo (mm)</b>	450.00	450.00	450.00	450.00
<b>Masa (Kg)</b>	26.36	27.26	25.97	27.38
<b>Carga máxima (KN)</b>	25.24	26.63	23.96	23.13
<b>Resistencia a la flexión (MPa)</b>	3.19	3.35	3.13	3.00
<b>Resistencia a la flexión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	32.56	34.12	31.94	30.63
<b>f'c promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>				32.31
<b>Desviación Estándar</b>				1.43
<b>f'c característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>				30.39

Tabla 3.36. Resultados de tracción por flexión de dosificación con el 6% de la fibra

<b>Porcentaje de fibra</b>	<b>6%</b>			
<b>Número de viga</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Fecha de Fabricación</b>	11/11/2021	11/11/2021	11/11/2021	11/11/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	9/12/2021	9/12/2021	9/12/2021	9/12/2021
<b>Longitud de la viga (mm)</b>	536.00	535.00	547.00	554.00
<b>Ancho (mm)</b>	154.00	150.00	151.00	150.00
<b>Altura (mm)</b>	150.00	151.00	150.00	150.00
<b>Longitud del apoyo (mm)</b>	450.00	450.00	450.00	450.00
<b>Masa (Kg)</b>	25.83	25.86	25.79	27.58
<b>Carga máxima (KN)</b>	20.81	21.77	24.56	25.73
<b>Resistencia a la flexión (MPa)</b>	2.70	2.86	3.25	3.43
<b>Resistencia a la flexión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	27.56	29.21	33.17	34.98
<b>f'c promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>				31.23
<b>Desviación Estándar</b>				2.39
<b>f'c característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>				28.03

### Ensayo de Flexión en Vigas

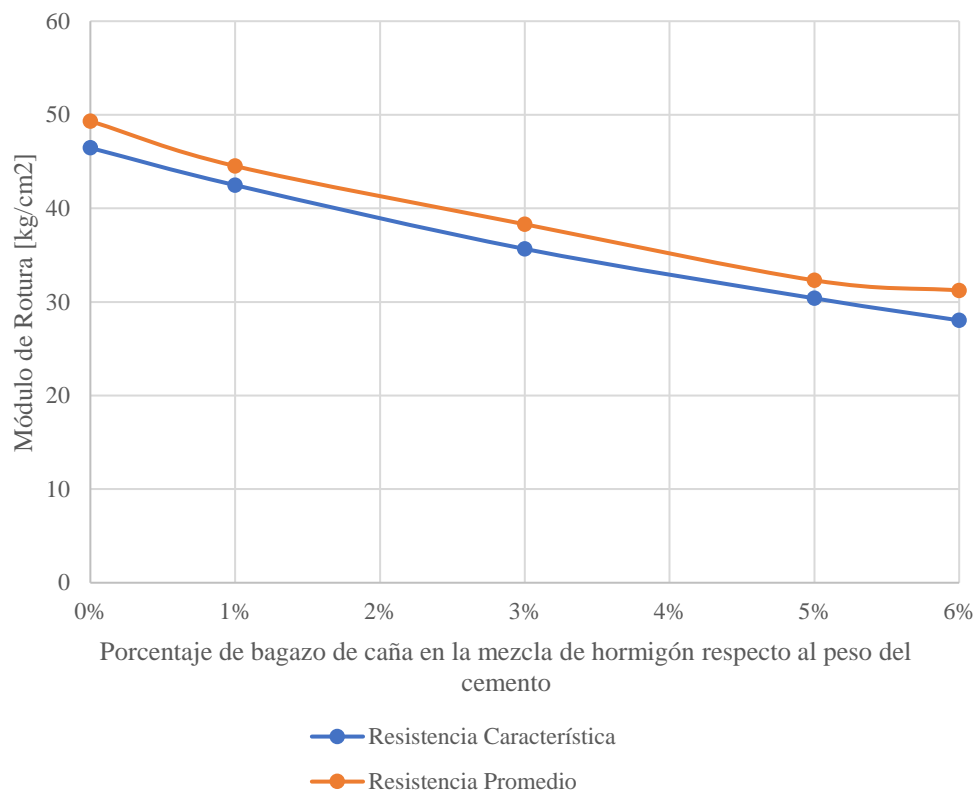


Figura 3. 5. Resultados ensayo de flexión en vigas.

### **3.4.4. Determinación de la Resistencia del Módulo de Elasticidad**

Tabla 3.37. Datos de ensayo de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 0% de fibra de bagazo de caña.

<b>Porcentaje de fibra</b>	0%\		
<b>Número de Cilindro</b>	1	2	3
<b>Fecha de Fabricación</b>	29/9/2021	29/9/2021	29/9/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	27/10/2021	27/10/2021	27/10/2021
<b>Desviación de la Superficie de Carga (mm)</b>	0.35	0.30	0.35
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	150.20	152.19	151.01
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	150.97	153.44	151.34
<b>Altura 1 (mm)</b>	300.00	304.00	300.00
<b>Altura 2 (mm)</b>	301.00	303.00	300.00
<b>Altura 3 (mm)</b>	300.00	303.00	300.00
<b>Masa (Kg)</b>	12.15	12.88	12.27
<b>Altura Equipo (mm)</b>	203.00	203.00	203.00
<b>Eg (mm)</b>	125.09	127.49	130.94
<b>Er (mm)</b>	128.47	128.30	127.41
<b>Carga máxima (KN)</b>	577.00	549.80	588.60
<b>Altura Promedio (mm)</b>	300.33	303.33	300.00
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	150.59	152.82	151.18
<b>Área Promedio (mm<sup>2</sup>)</b>	17809.56	18340.95	17949.40
<b>Resistencia (MPa)</b>	32.40	29.98	32.79
<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	330.37	305.68	334.39
<b>Tipo de falla</b>	V	V	V

### Cilindro (1) 0% de fibra

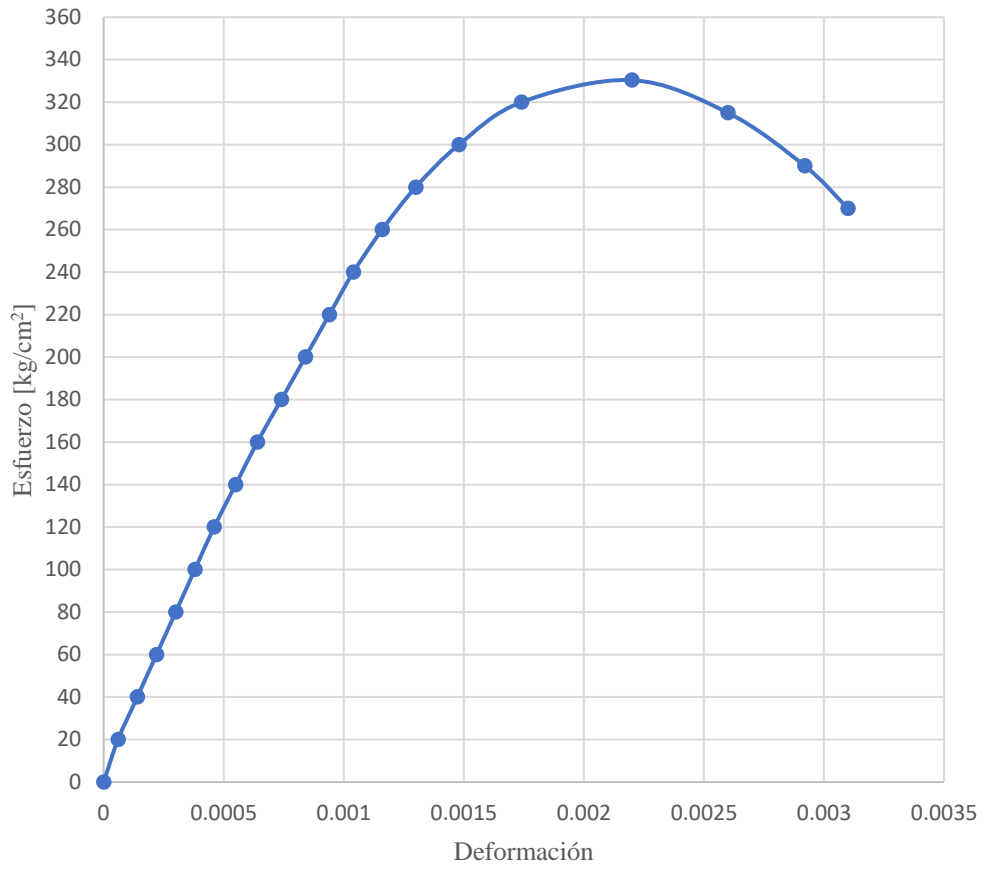


Figura 3. 6. Esfuerzo versus deformación, cilindro 1 con 0% de fibra.

### Cilindro (2) 0% de fibra

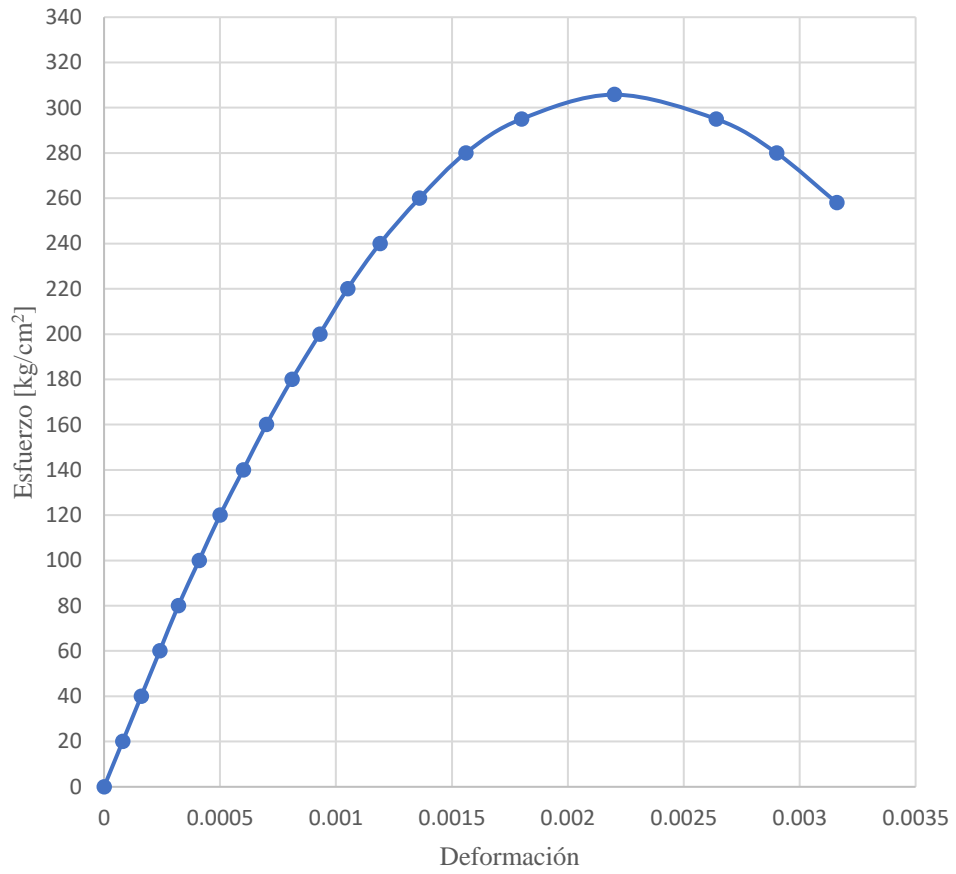


Figura 3. 7.Esfuerzo versus deformación, cilindro 2 con 0% de fibra.

Cilindro (3) 0% de fibra

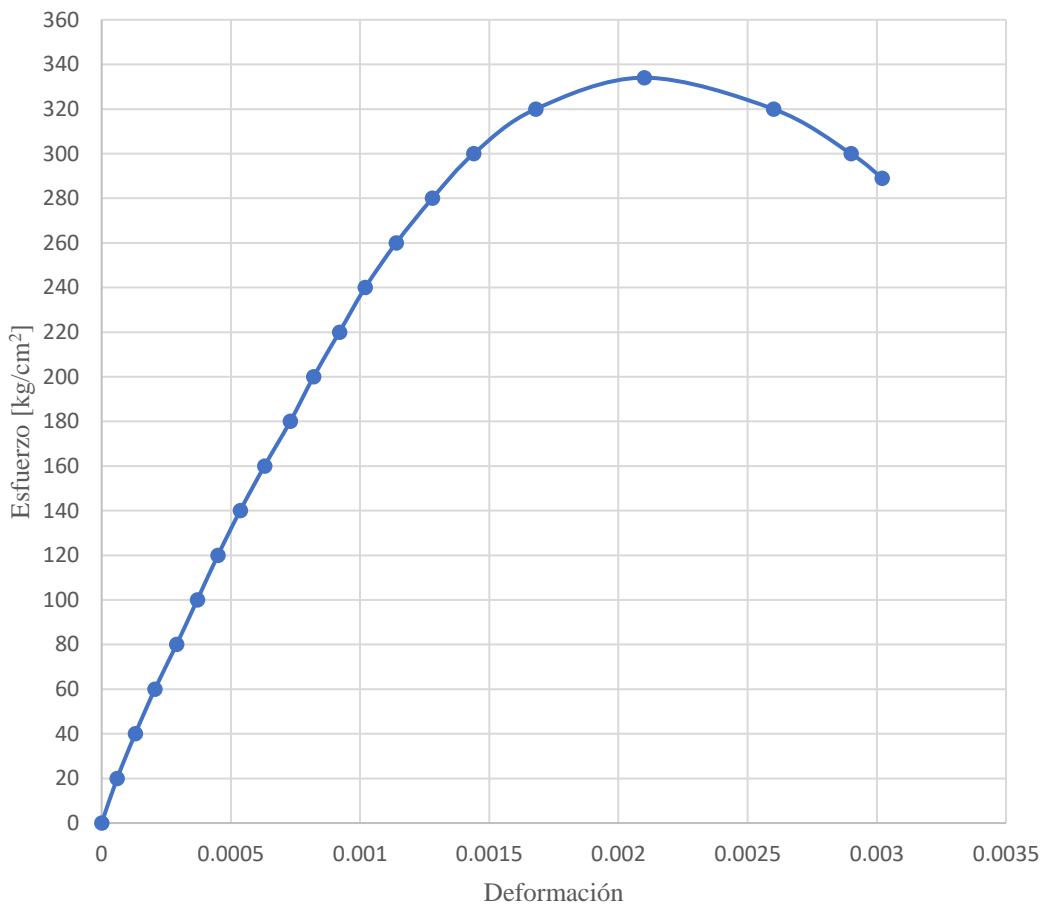


Figura 3. 8. Esfuerzo versus deformación, cilindro 3 con 0% de fibra.

Tabla 3.38. Resultados de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 0% de la fibra.

Módulo de Elasticidad de hormigón con 0% de fibra									
Muestra	W	A	$\alpha$ ACI	$\bar{V}$	f2	f1	$\epsilon_2$	$\epsilon_1$	Ec
N.º	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	-	kg/cm <sup>2</sup>
1	2271.54	14373.82	14618.64	4198.49	132.15	18.5	0.00049	0.00005	261259.77
2	2315.12	14816.03	15041.42	4206.02	122.32	13.5	0.00047	0.00005	259085.71
3	2278.63	14300.89	14687.17	4157.69	133.62	16.0	0.00050	0.00005	261377.78
Promedio W			2288.43		Ec Promedio			260574.42	
Promedio $\alpha$			14496.91		Desviación Estándar			1290.61	
Promedio $\bar{V}$			4187.40		Ec Característico			259283.81	

Tabla 3.39. Datos de ensayo de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 1% de fibra de bagazo de caña.

<b>Porcentaje de fibra</b>	1%		
<b>Número de Cilindro</b>	1	2	3
<b>Fecha de Fabricación</b>	20/10/2021	20/10/2021	20/10/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	17/11/2021	17/11/2021	17/11/2021
<b>Desviación de la Superficie de Carga (mm)</b>	0.30	0.35	0.30
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	152.04	150.88	151.98
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	152.58	151.64	151.55
<b>Altura 1 (mm)</b>	300.30	300.05	304.38
<b>Altura 2 (mm)</b>	300.40	299.08	303.18
<b>Altura 3 (mm)</b>	300.40	300.20	304.18
<b>Masa (Kg)</b>	12.19	12.22	12.53
<b>Altura Equipo (mm)</b>	203.00	203.00	203.00
<b>Eg (mm)</b>	125.31	126.38	124.32
<b>Er (mm)</b>	123.06	126.26	128.86
<b>Carga máxima (KN)</b>	432.40	475.43	469.45
<b>Altura Promedio (mm)</b>	300.37	299.78	303.91
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	152.31	151.26	151.77
<b>Área Promedio (mm<sup>2</sup>)</b>	18219.93	17969.59	18089.77
<b>Resistencia (MPa)</b>	23.73	26.46	25.95
<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	242.00	269.79	264.63
<b>Tipo de falla</b>	V	V	V

Cilindro (1) 1% de fibra

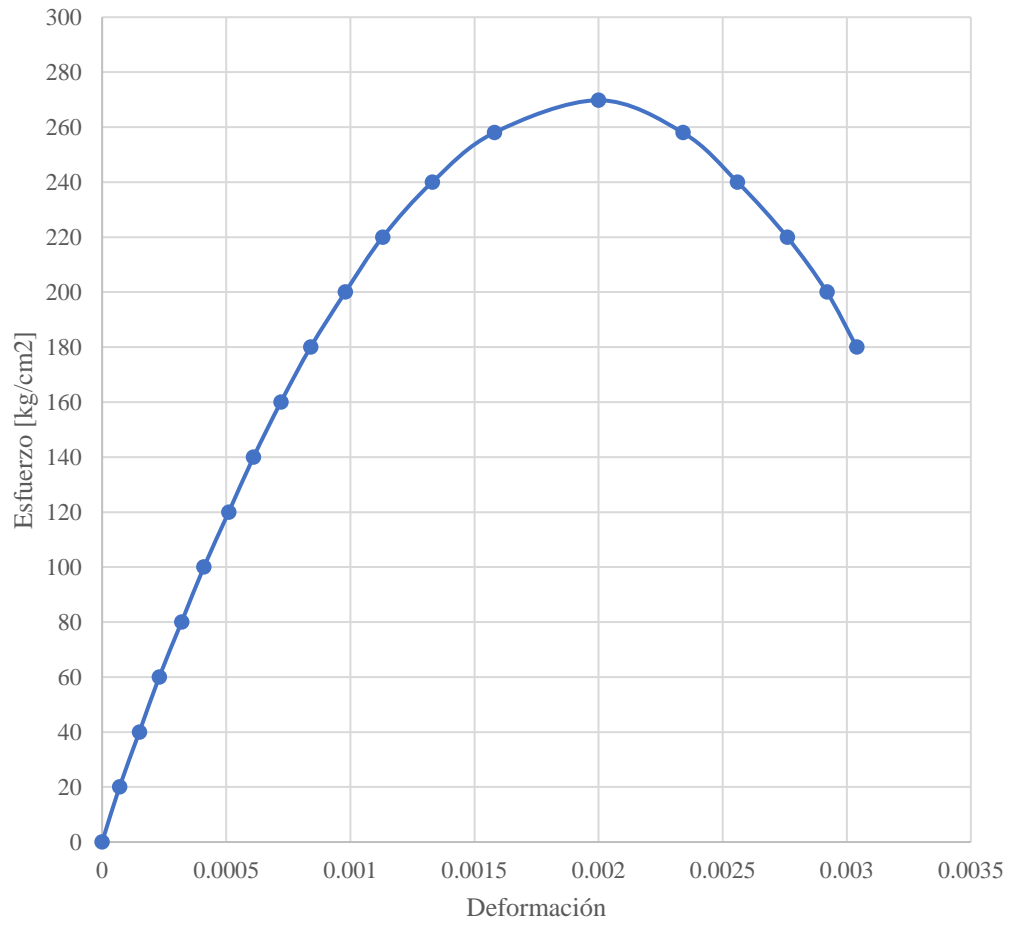
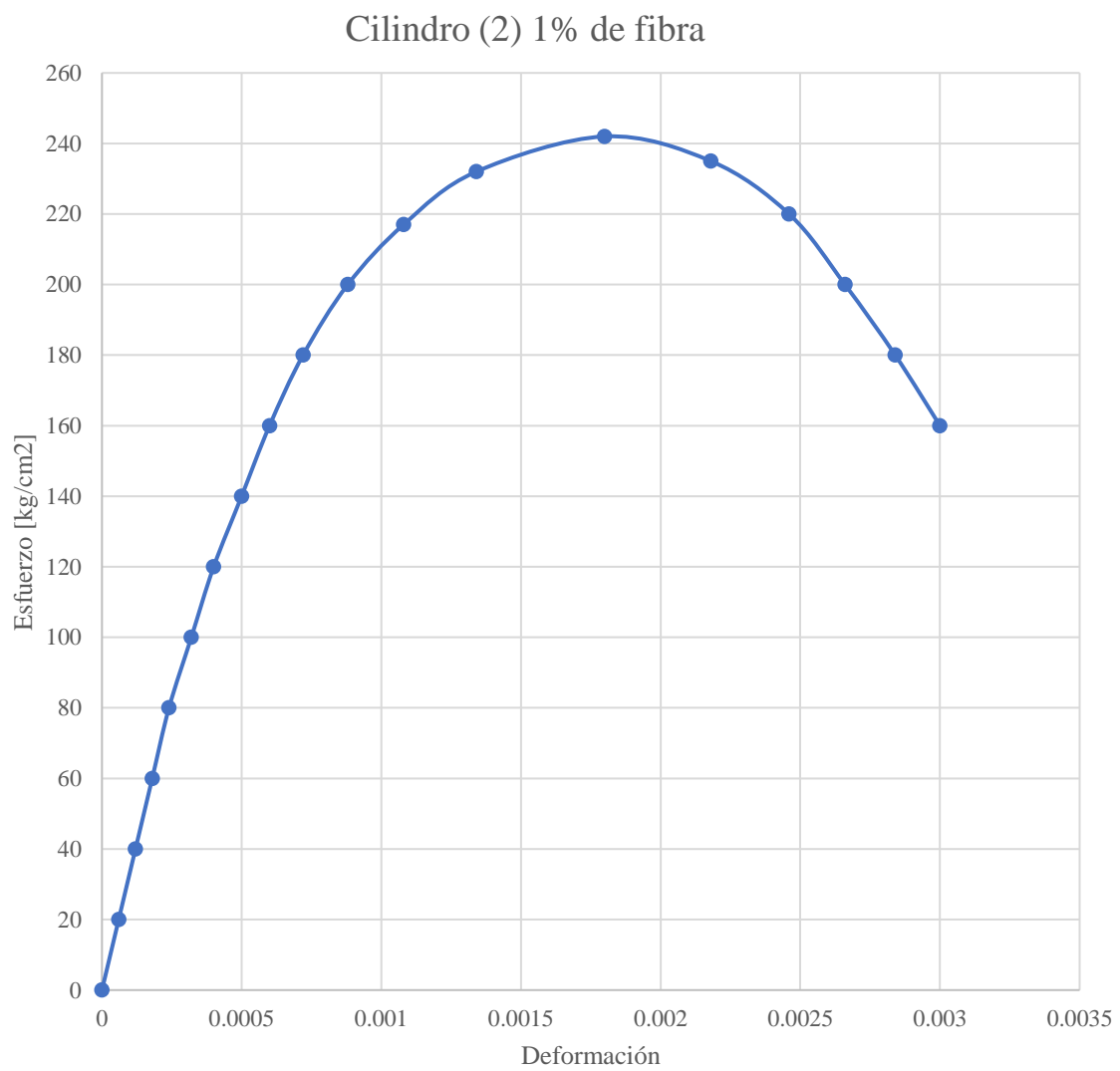


Figura 3. 9.Esfuerzo versus deformación, cilindro 1 con 1% de fibra.



*Figura 3. 10.* Esfuerzo versus deformación, cilindro 2 con 1% de fibra.

Cilindro (3) 1% de fibra

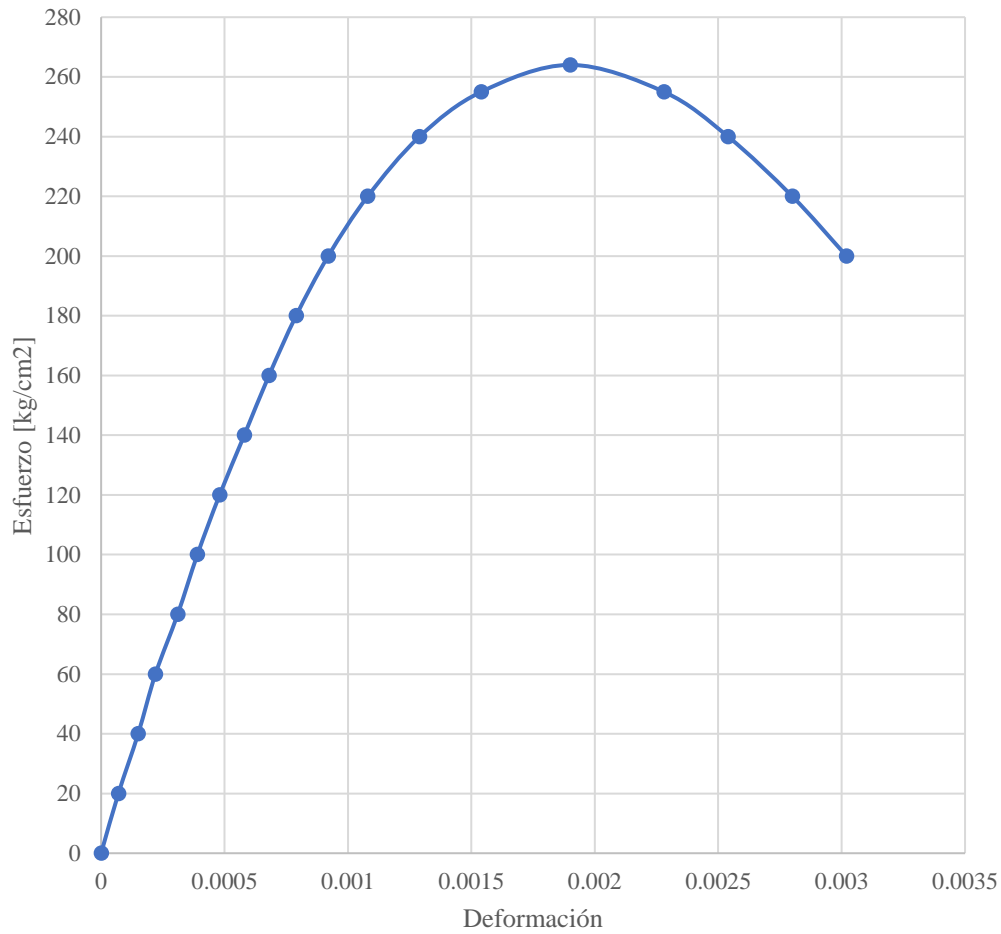


Figura 3. 11. Esfuerzo versus deformación, cilindro 3 con 1% de fibra.

Tabla 3.40. Resultados de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 1% de la fibra.

Módulo de Elasticidad de hormigón con 1% de fibra									
Muestra	W	A	$\alpha$ ACI	$\gamma$	f2	f1	$\epsilon$ 2	$\epsilon$ 1	Ec
N.º	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	-	kg/cm <sup>2</sup>
1	2227.44	14217.87	14195.012	4276.88	107.92	11	0.00047	0.00005	233532.53
2	2268.48	14906.58	14589.18	4484.05	96.80	11	0.00042	0.00005	231891.89
3	2279.13	14248.57	14691.97	4286.11	105.61	13	0.00045	0.00005	231525.00
Promedio W			2258.35	Ec Promedio			232316.47		
Promedio $\alpha$			14457.67	Desviación Estándar			1068.99		
Promedio $\gamma$			4349.01	Ec Característico			231247.48		

Tabla 3.41. Datos de ensayo de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 3% de fibra de bagazo de caña.

<b>Porcentaje de fibra</b>	3%		
<b>Número de Cilindro</b>	1	2	3
<b>Fecha de Fabricación</b>	26/10/2021	26/10/2021	26/10/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	23/11/2021	23/11/2021	23/11/2021
<b>Desviación de la Superficie de Carga (mm)</b>	0.35	0.35	0.35
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	152.31	154.14	150.87
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	152.68	153.64	151.07
<b>Altura 1 (mm)</b>	306.30	306.28	300.76
<b>Altura 2 (mm)</b>	306.21	305.91	301.01
<b>Altura 3 (mm)</b>	307.97	306.03	298.06
<b>Masa (Kg)</b>	12.27	12.44	11.97
<b>Altura Equipo (mm)</b>	203.00	203.00	203.00
<b>Eg (mm)</b>	130.09	128.33	124.92
<b>Er (mm)</b>	130.10	125.12	126.50
<b>Carga máxima (KN)</b>	403.10	410.34	381.10
<b>Altura Promedio (mm)</b>	306.83	306.07	299.94
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	152.50	153.89	150.97
<b>Área Promedio (mm<sup>2</sup>)</b>	18264.22	18599.90	17900.75
<b>Resistencia (MPa)</b>	22.07	22.06	21.29
<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	225.06	224.96	217.09
<b>Tipo de falla</b>	V	V	V

Cilindro (1) 3% de fibra

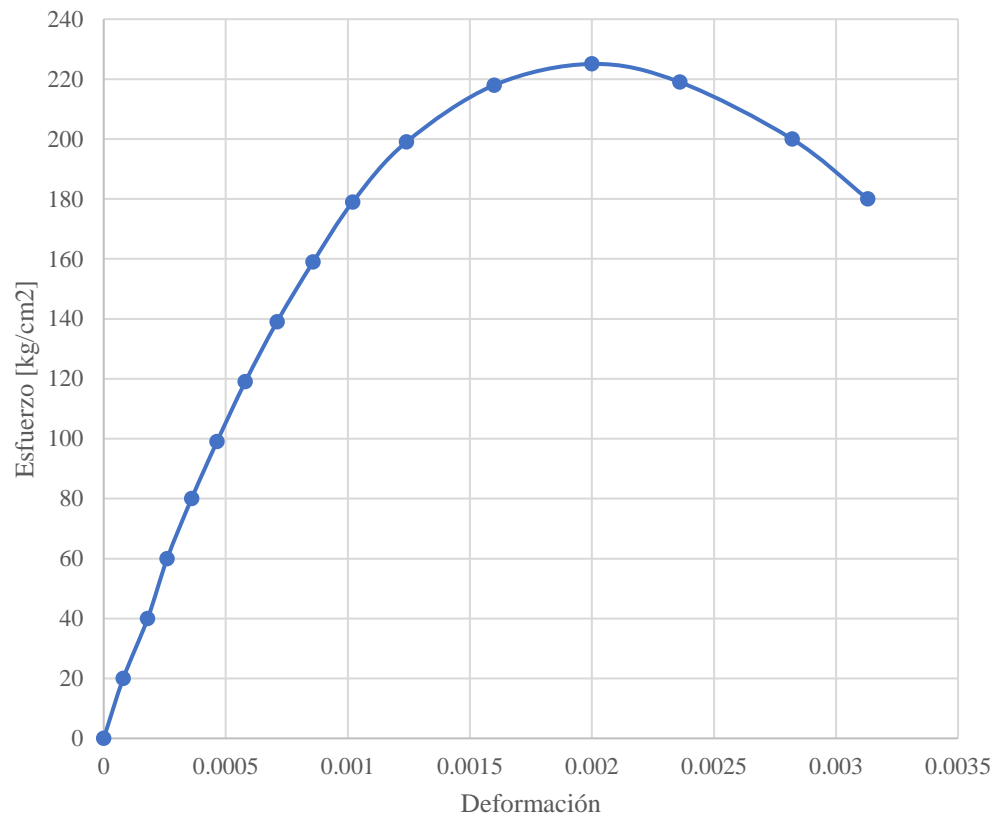


Figura 3. 12. Esfuerzo versus deformación, cilindro 1 con 3% de fibra.

Cilindro (2) 3% de fibra

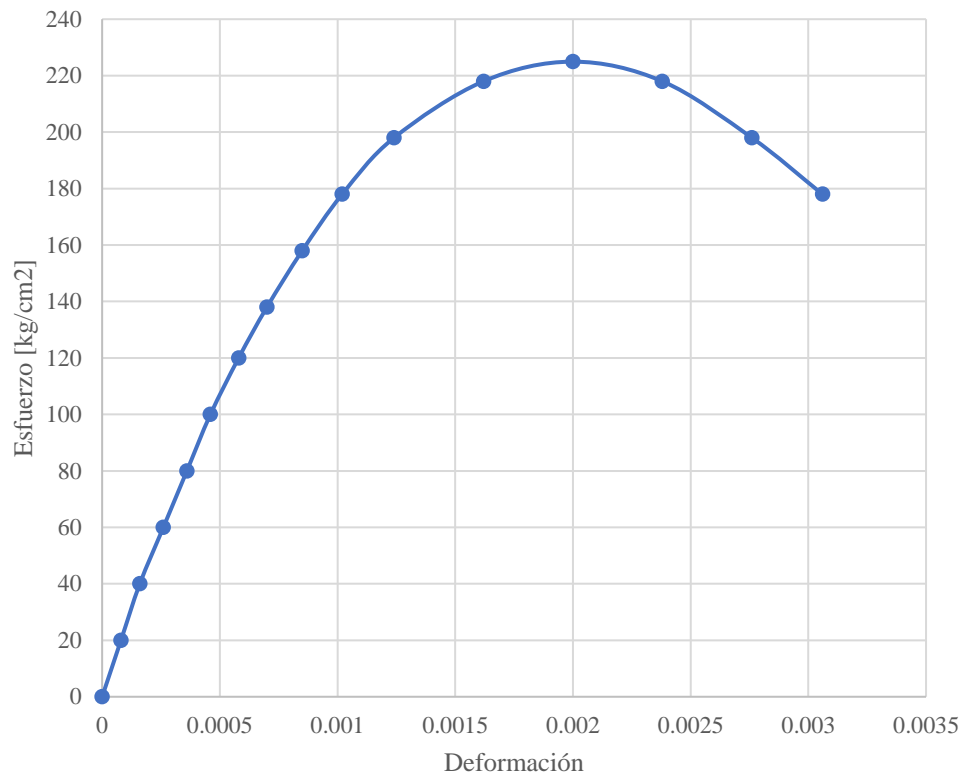


Figura 3. 13. Esfuerzo versus deformación, cilindro 2 con 3% de fibra.

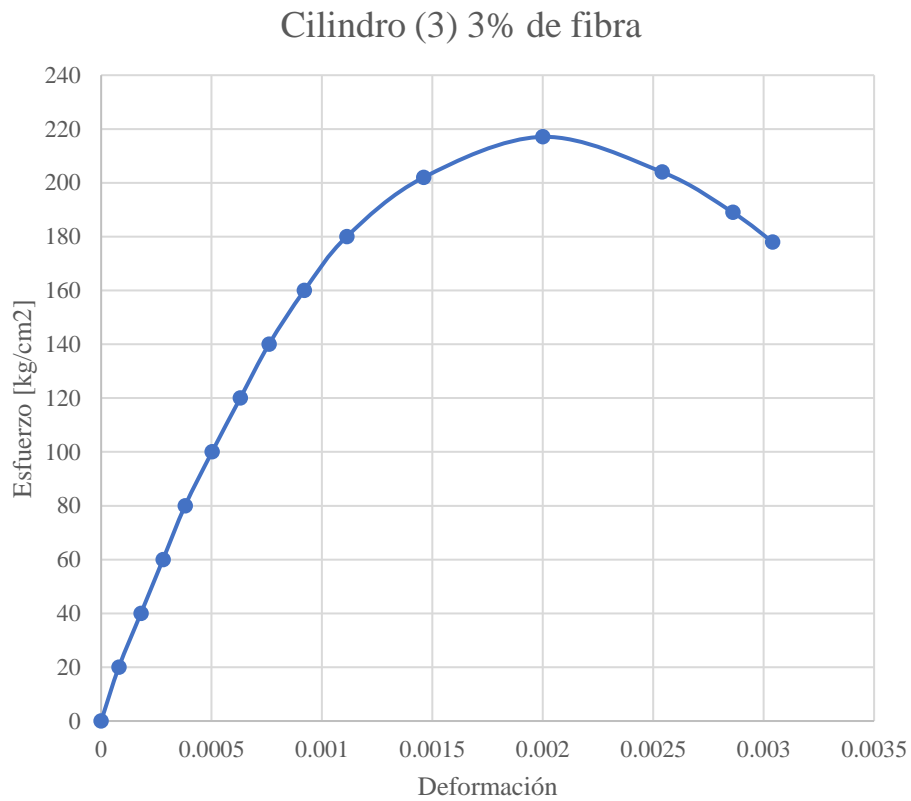


Figura 3. 14. Esfuerzo versus deformación, cilindro 3 con 3% de fibra.

Tabla 3.42. Resultados de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 3% de la fibra.

Módulo de Elasticidad de hormigón con 3% de fibra									
Muestra	W	$\alpha$	$\alpha$ ACI	$\bar{V}$	f2	f1	$\epsilon_2$	$\epsilon_1$	Ec
N.º	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	-	kg/cm <sup>2</sup>
1	2189.53	14261.80	13834.18	4401.99	90.02	13	0.00041	0.00005	213955.56
2	2185.17	14473.69	13792.86	4467.38	89.98	14	0.00040	0.00005	217085.71
3	2229.38	14512.62	14213.58	4479.40	86.84	12	0.00040	0.00005	213828.57
Promedio W				2201.357		Ec Promedio			214956.61
Promedio $\alpha$				14416.03		Desviación Estándar			1844.95
Promedio $\bar{V}$				4449.59		Ec Característico			213111.67

Tabla 3.43. Datos de ensayo de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 5% de fibra de bagazo de caña.

<b>Porcentaje de fibra</b>	5%		
<b>Número de Cilindro</b>	1	2	3
<b>Fecha de Fabricación</b>	10/11/2021	10/11/2021	10/11/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	8/12/2021	8/12/2021	8/12/2021
<b>Desviación de la Superficie de Carga (mm)</b>	0.30	0.35	0.30
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	150.07	150.18	150.18
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	149.54	150.47	149.01
<b>Altura 1 (mm)</b>	301.46	299.44	299.42
<b>Altura 2 (mm)</b>	299.68	300.05	300.25
<b>Altura 3 (mm)</b>	300.12	299.91	300.22
<b>Masa (Kg)</b>	11.53	11.41	11.29
<b>Altura Equipo (mm)</b>	203.00	203.00	203.00
<b>Eg (mm)</b>	124.63	127.57	124.99
<b>Er (mm)</b>	127.06	124.36	125.62
<b>Carga máxima (KN)</b>	278.47	249.80	269.50
<b>Altura Promedio (mm)</b>	300.42	299.80	299.96
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	149.81	150.33	149.60
<b>Área Promedio (mm<sup>2</sup>)</b>	17625.54	17748.12	17576.16
<b>Resistencia (MPa)</b>	15.80	14.07	15.33
<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	161.11	143.52	156.36
<b>Tipo de falla</b>	V	V	V

Cilindro (1) 5% de fibra

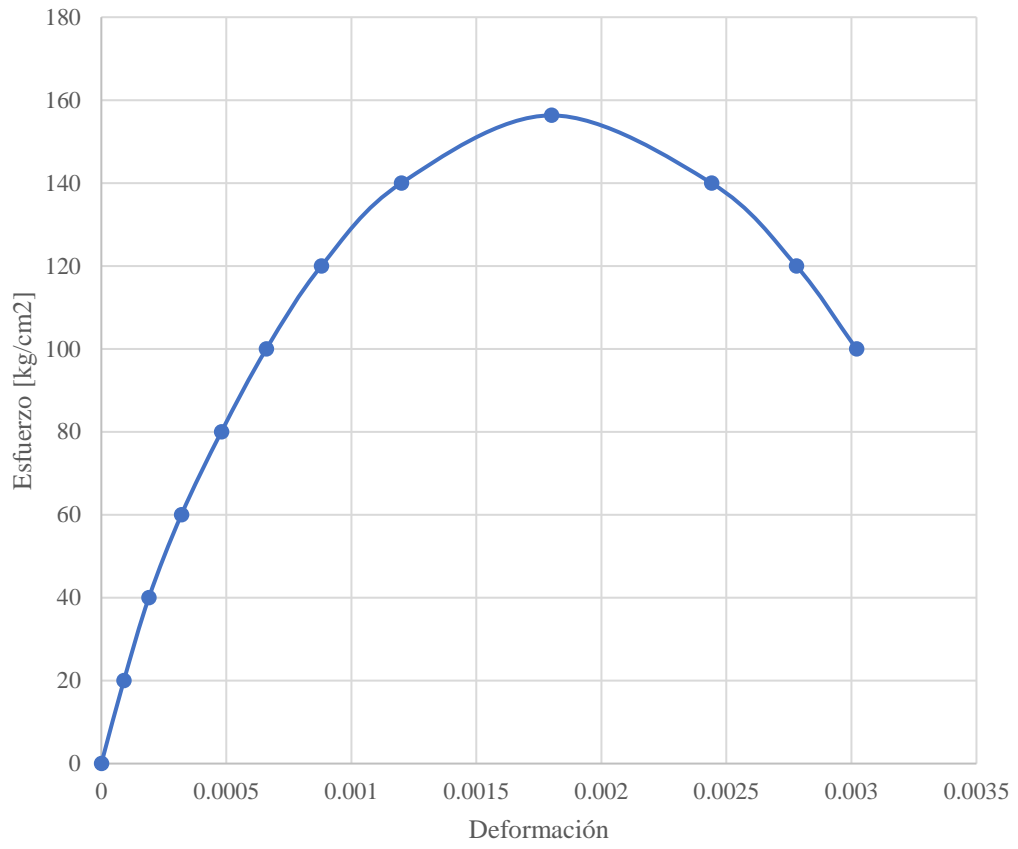


Figura 3. 15. Esfuerzo versus deformación, cilindro 1 con 5% de fibra.

Cilindro (2) 5% de fibra

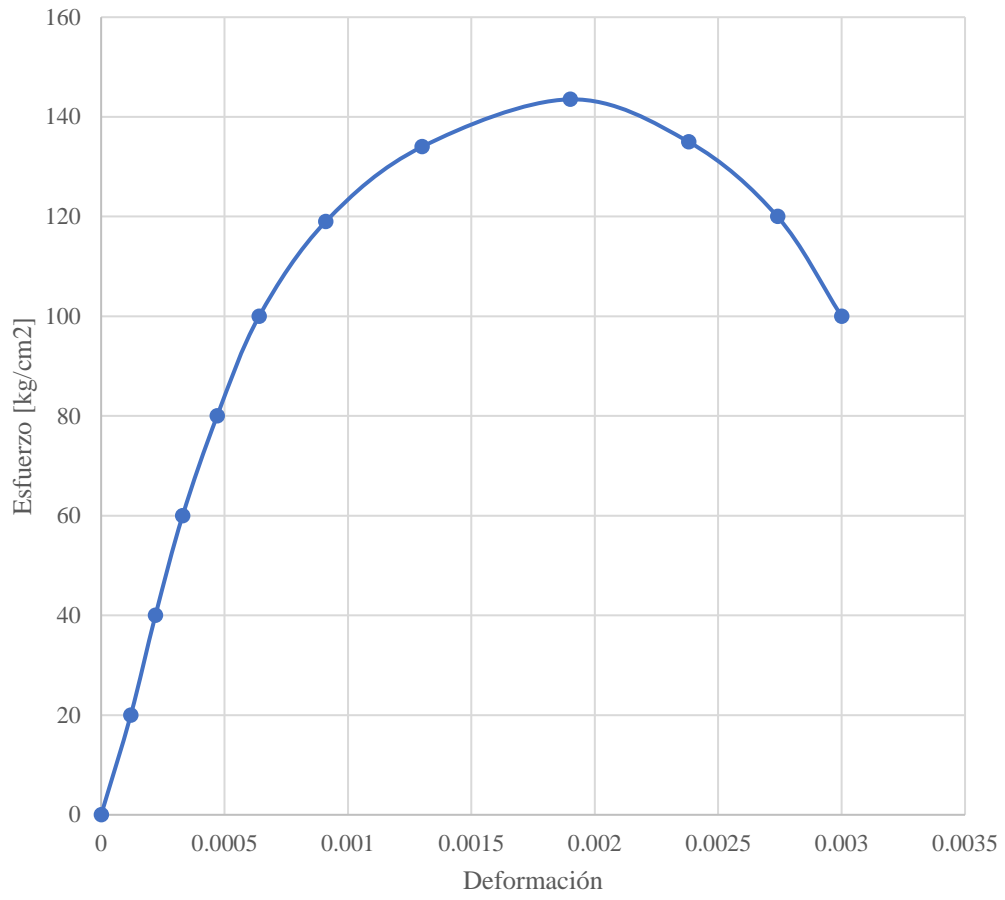


Figura 3. 16. Esfuerzo versus deformación, cilindro 2 con 5% de fibra.

Cilindro (3) 5% de fibra

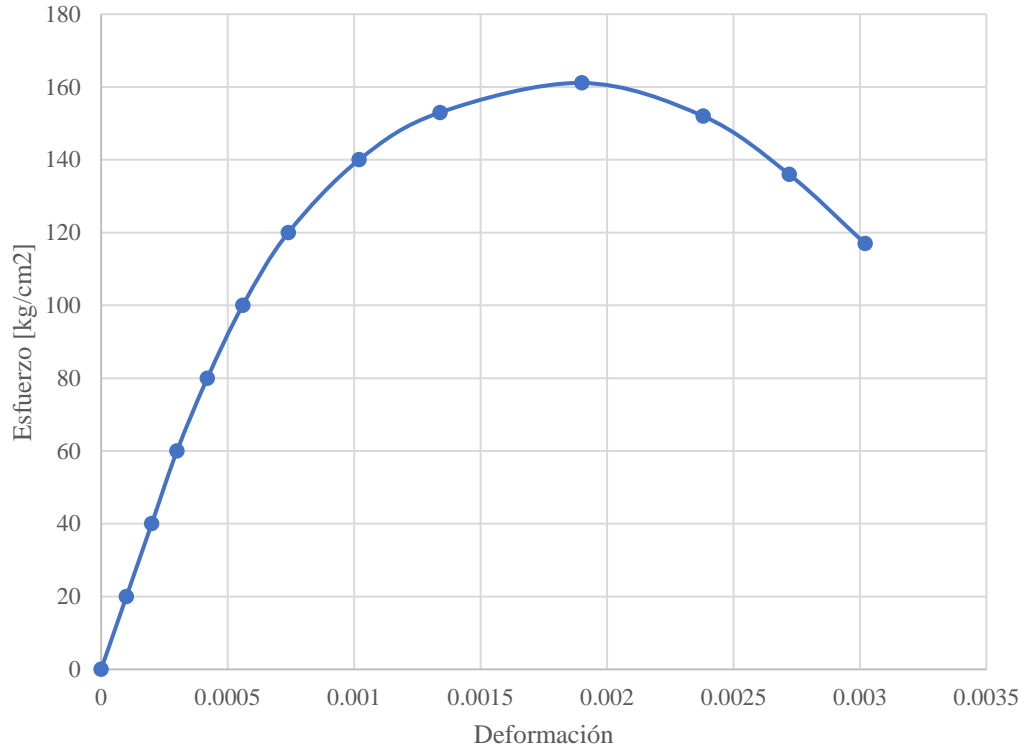


Figura 3. 17. Esfuerzo versus deformación, cilindro 3 con 5% de fibra.

Tabla 3.44. Resultados de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 5% de la fibra.

Módulo de Elasticidad de hormigón con 5% de fibra									
Muestra	W	A	$\alpha$ ACI	$\bar{Y}$	f2	f1	$\epsilon_2$	$\epsilon_1$	Ec
N.º	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	-	kg/cm <sup>2</sup>
1	2177.49	14349.89	13720.34	4465.93	62.53	10.5	0.00034	0.00005	179413.79
2	2144.38	14578.81	13408.51	4642.69	57.41	12	0.00031	0.00005	174653.85
3	2141.42	14165.39	13380.75	4520.39	64.44	10.5	0.00035	0.00005	179800.00
Promedio W				2154.43	Ec Promedio				177955.88
Promedio $\alpha$				14364.69	Desviación Estándar				2866.16
Promedio $\bar{Y}$				4543.00	Ec Característico				175089.72

Tabla 3.45. Datos de ensayo de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 6% de fibra de bagazo de caña.

<b>Porcentaje de fibra</b>	<b>6%</b>		
<b>Número de Cilindro</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Fecha de Fabricación</b>	18/11/2021	18/11/2021	18/11/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	15/12/2021	15/12/2021	15/12/2021
<b>Desviación de la Superficie de Carga (mm)</b>	0.35	0.35	0.30
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	153.67	151.23	150.93
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	153.92	151.39	150.03
<b>Altura 1 (mm)</b>	305.75	299.28	301.97
<b>Altura 2 (mm)</b>	306.87	299.42	302.51
<b>Altura 3 (mm)</b>	306.29	300.60	301.74
<b>Masa (Kg)</b>	12.06	11.59	11.50
<b>Altura Equipo (mm)</b>	203.00	203.00	203.00
<b>Eg (mm)</b>	126.30	125.63	125.20
<b>Er (mm)</b>	124.98	124.52	125.78
<b>Carga máxima (KN)</b>	218.53	269.91	264.50
<b>Altura Promedio (mm)</b>	306.30	299.77	302.07
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	153.80	151.31	150.48
<b>Área Promedio (mm<sup>2</sup>)</b>	18576.95	17981.47	17784.74
<b>Resistencia (MPa)</b>	11.76	15.01	14.87
<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	119.95	153.06	151.66
<b>Tipo de falla</b>	V	V	V

### Cilindro (1) 6% de fibra

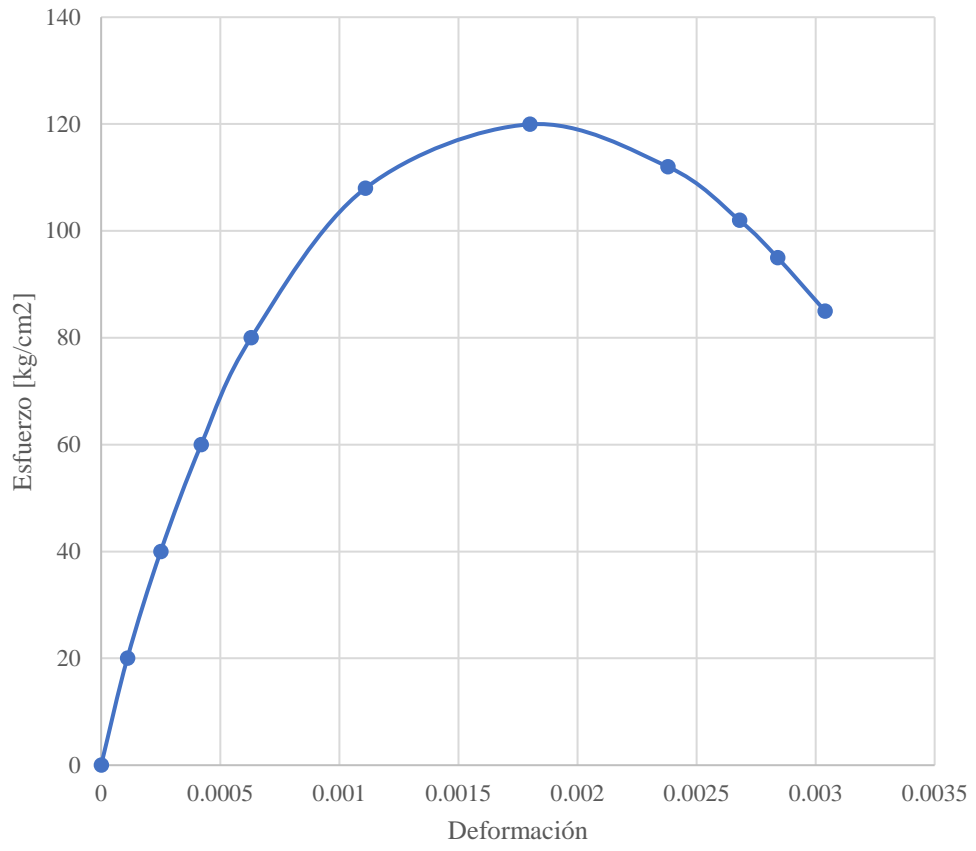


Figura 3. 18. Esfuerzo versus deformación, cilindro 1 con 6% de fibra.

### Cilindro (2) 6% de fibra

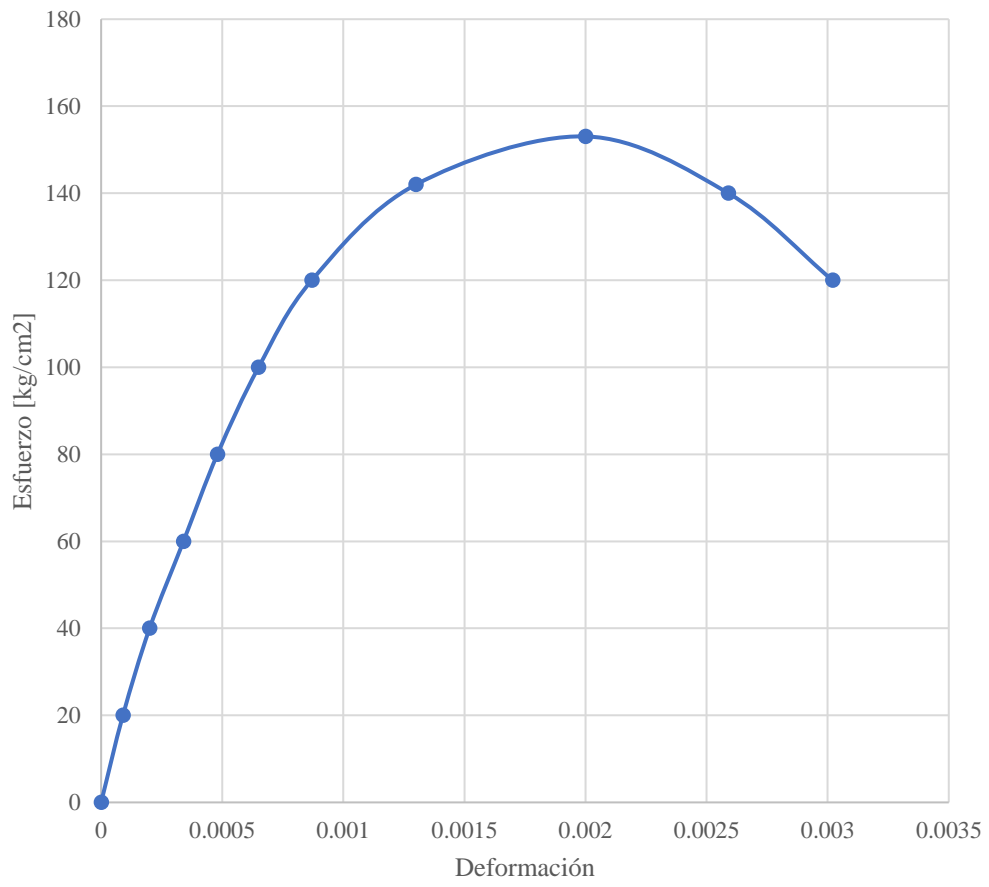


Figura 3. 19. Esfuerzo versus deformación, cilindro 2 con 6% de fibra.

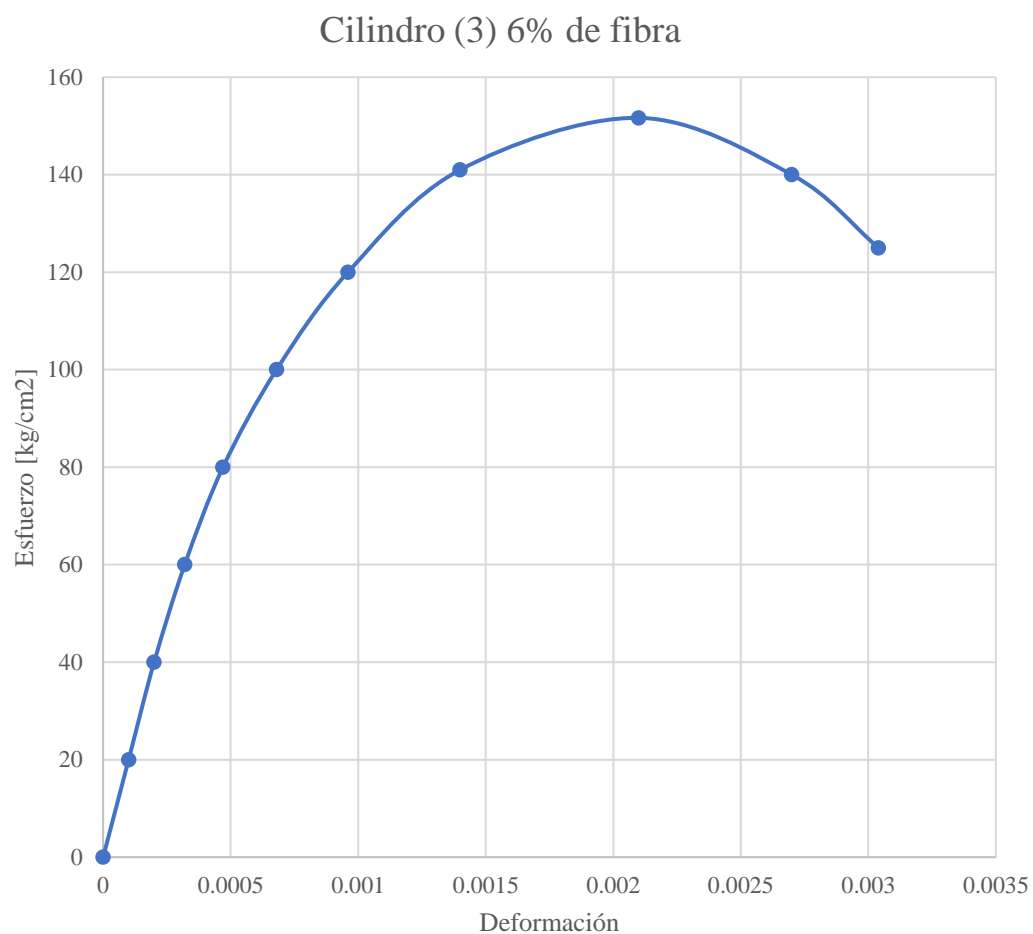


Figura 3. 20. Esfuerzo versus deformación, cilindro 3 con 6% de fibra.

Tabla 3.46. Resultados de Módulo de Elasticidad de dosificación con el 6% de la fibra.

Módulo de Elasticidad de hormigón con 6% de fibra									
Muestra	W	A	$\alpha$ ACI	$\bar{V}$	f2	f1	$\epsilon_2$	$\epsilon_1$	Ec
N.º	kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	-	-	kg/cm <sup>2</sup>
1	2119.44	14283.45	13175.28	4629.15	47.98	12	0.00028	0.00005	156434.78
2	2150.18	14276.14	13462.95	4626.78	61.22	10	0.00034	0.00005	176620.69
3	2140.61	14401.68	13373.19	4667.47	60.66	11	0.00033	0.00005	177357.14
Promedio W				2136.75		Ec Promedio		170137.54	
Promedio $\alpha$				14320.42		Desviación Estándar		11872.65	
Promedio $\bar{V}$				4641.13		Ec Característico		158264.89	

### Ensayo Módulo de Elasticidad

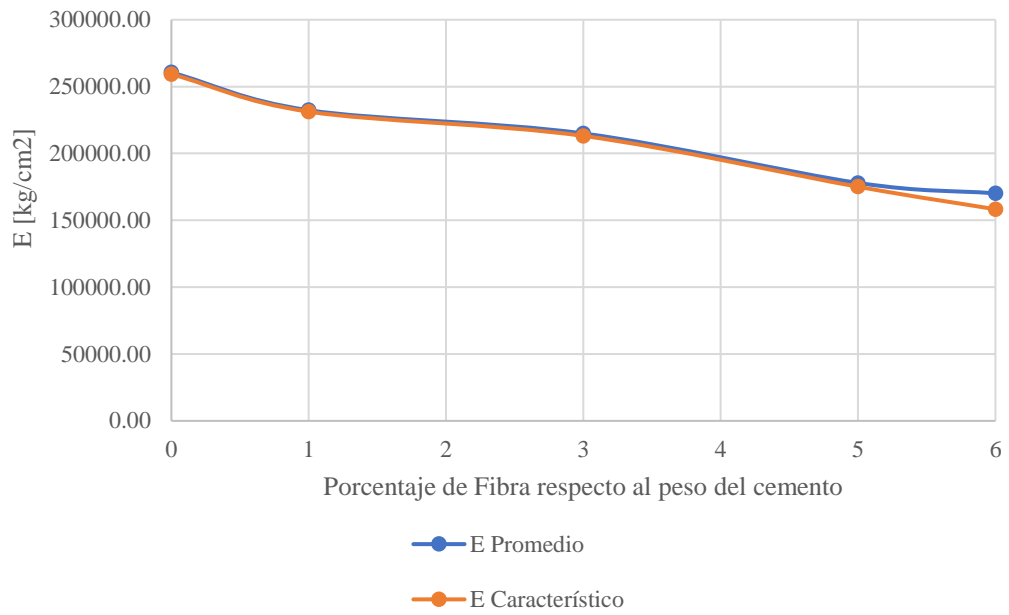


Figura 3. 21. Resultados del ensayo de Módulo de Elasticidad

### $\alpha$ Módulo de Elasticidad

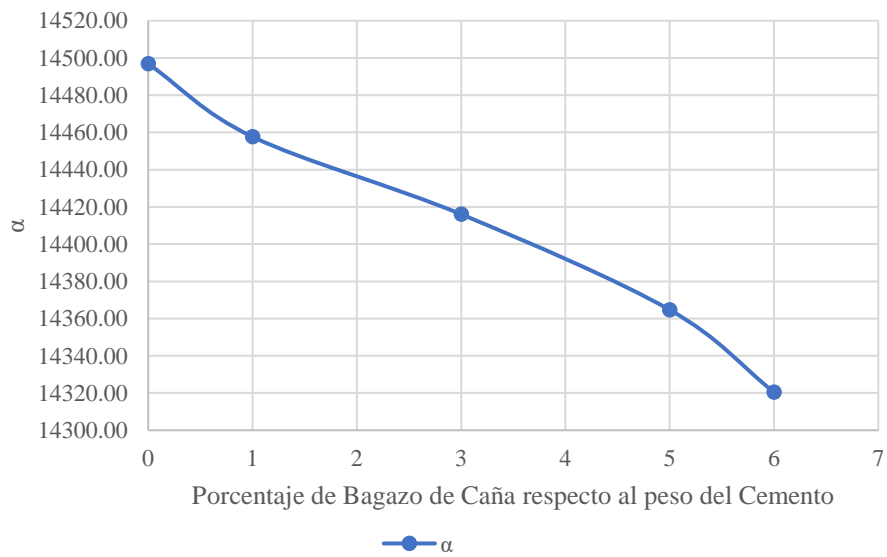


Figura 3. 22. Gráfica de valores de  $\alpha$  del Módulo de Elasticidad.

### Y Módulo de Elasticidad

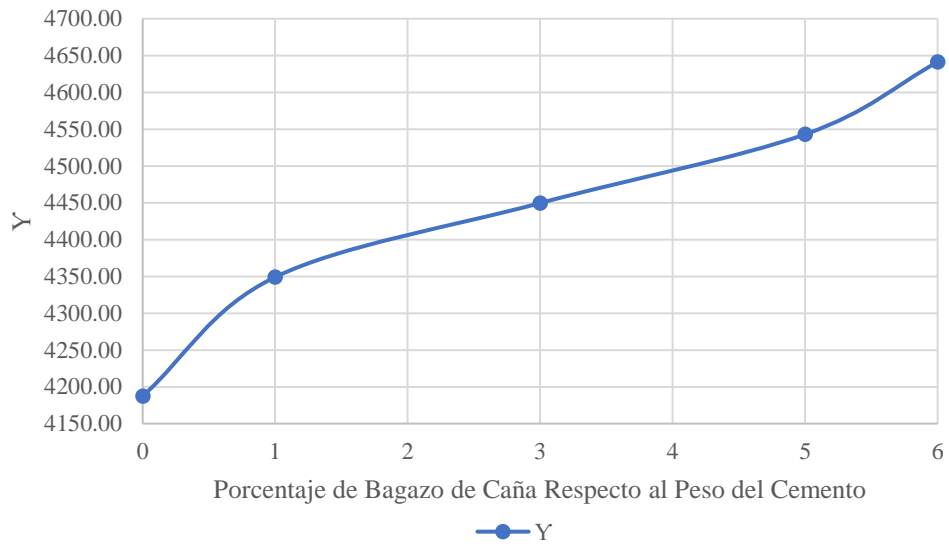


Figura 3. 23. Gráfica de valores de Y del Módulo de Elasticidad

**3.5.5. Determinación de la Resistencia a la tracción de especímenes cilíndricos de hormigón**

Tabla 3.47. Resultados de tracción (método brasileño) de dosificación con el 0% de la fibra de bagazo de caña.

<b>Porcentaje de fibra</b>	0%		
<b>Número de Cilindro</b>	1	2	3
<b>Fecha de Fabricación</b>	29/9/2021	29/9/2021	29/9/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	27/10/2021	27/10/2021	27/10/2021
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	151.37	149.47	153.39
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	153.43	150.47	154.74
<b>Diámetro 3 (mm)</b>	152.26	151.19	154.17
<b>Altura 1 (mm)</b>	303.00	299.00	304.00
<b>Altura 2 (mm)</b>	302.00	301.00	302.00
<b>Altura 3 (mm)</b>	303.00	300.00	303.00
<b>Masa (Kg)</b>	12.39	12.21	12.92
<b>Carga máxima (KN)</b>	279.40	244.00	252.30
<b>Altura Promedio (mm)</b>	302.67	300.00	303.00
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	152.35	150.38	154.10
<b>Resistencia MPa</b>	3.86	3.44	3.44
<b>Resistencia kg/cm<sup>2</sup></b>	39.33	35.11	35.08
<b>f'c promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	36.51		
<b>Desviación Estándar</b>	2.45		
<b>f'c característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	33.23		

Tabla 3.48. Resultados de tracción (método brasileño) de dosificación con el 1% de la fibra de bagazo de caña.

<b>Porcentaje de fibra</b>	1%		
<b>Número de Cilindro</b>	1	2	3
<b>Fecha de Fabricación</b>	20/10/2021	20/10/2021	20/10/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	17/11/2021	17/11/2021	17/11/2021
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	153.73	149.76	152.89
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	153.06	150.56	153.37
<b>Diámetro 3 (mm)</b>	153.46	149.72	153.52
<b>Altura 1 (mm)</b>	306.37	299.83	300.57
<b>Altura 2 (mm)</b>	307.47	300.53	300.84
<b>Altura 3 (mm)</b>	305.94	300.21	301.21
<b>Masa (Kg)</b>	12.46	12.05	12.48
<b>Carga máxima (KN)</b>	211.02	233.50	228.80
<b>Altura Promedio (mm)</b>	306.59	300.19	300.87
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	153.42	150.01	153.26
<b>Resistencia MPa</b>	2.86	3.30	3.16
<b>Resistencia kg/cm<sup>2</sup></b>	29.12	33.66	32.21
<b>f'c promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	31.67		
<b>Desviación Estándar</b>	2.32		
<b>f'c característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	28.56		

Tabla 3.49. Resultados de tracción (método brasileño) de dosificación con el 3% de la fibra de bagazo de caña.

<b>Porcentaje de fibra</b>	3%		
<b>Número de Cilindro</b>	1	2	3
<b>Fecha de Fabricación</b>	26/10/2021	26/10/2021	26/10/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	23/11/2021	23/11/2021	23/11/2021
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	151.84	150.98	152.54
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	152.10	150.06	151.74
<b>Diámetro 3 (mm)</b>	151.26	151.18	151.61
<b>Altura 1 (mm)</b>	300.26	300.80	305.92
<b>Altura 2 (mm)</b>	301.79	301.12	304.95
<b>Altura 3 (mm)</b>	301.99	301.31	306.95
<b>Masa (Kg)</b>	11.98	11.76	12.29
<b>Carga máxima (KN)</b>	188.00	196.85	208.40
<b>Altura Promedio (mm)</b>	301.35	301.08	305.94
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	151.73	150.74	151.96
<b>Resistencia MPa</b>	2.62	2.76	2.85
<b>Resistencia kg/cm<sup>2</sup></b>	26.69	28.16	29.10
<b>f'c promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	27.98		
<b>Desviación Estándar</b>	1.21		
<b>f'c característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	26.36		

Tabla 3.50. Resultados de tracción (método brasileño) de dosificación con el 5% de la fibra de bagazo de caña.

<b>Porcentaje de fibra</b>	5%		
<b>Número de Cilindro</b>	1	2	3
<b>Fecha de Fabricación</b>	10/11/2021	10/11/2021	10/11/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	8/12/2021	8/12/2021	8/12/2021
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	150.07	150.57	151.05
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	150.36	149.99	150.37
<b>Diámetro 3 (mm)</b>	149.54	150.03	150.75
<b>Altura 1 (mm)</b>	299.68	300.58	299.61
<b>Altura 2 (mm)</b>	301.46	301.35	299.82
<b>Altura 3 (mm)</b>	300.12	300.56	301.01
<b>Masa (Kg)</b>	11.53	11.33	11.44
<b>Carga máxima (KN)</b>	134.70	131.43	129.18
<b>Altura Promedio (mm)</b>	300.42	300.83	300.15
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	149.99	150.20	150.72
<b>Resistencia MPa</b>	1.90	1.85	1.82
<b>Resistencia kg/cm<sup>2</sup></b>	19.41	18.88	18.54
<b>f'c promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	18.94		
<b>Desviación Estándar</b>	0.44		
<b>f'c característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	18.36		

Tabla 3.51. Resultados de tracción (método brasileño) de dosificación con el 6% de la fibra de bagazo de caña.

<b>Porcentaje de fibra</b>	6%		
<b>Número de Cilindro</b>	1	2	3
<b>Fecha de Fabricación</b>	11/11/2021	11/11/2021	11/11/2021
<b>Fecha de Ensayo</b>	9/12/2021	9/12/2021	9/12/2021
<b>Diámetro 1 (mm)</b>	151.90	153.33	152.33
<b>Diámetro 2 (mm)</b>	152.53	153.70	151.69
<b>Diámetro 3 (mm)</b>	151.96	153.88	152.53
<b>Altura 1 (mm)</b>	306.45	305.50	305.46
<b>Altura 2 (mm)</b>	307.00	307.02	306.92
<b>Altura 3 (mm)</b>	307.26	307.14	306.43
<b>Masa (Kg)</b>	11.84	12.15	11.96
<b>Carga máxima (KN)</b>	118.41	122.68	122.14
<b>Altura Promedio (mm)</b>	306.90	306.55	306.27
<b>Diámetro Promedio (mm)</b>	152.13	153.64	152.18
<b>Resistencia MPa</b>	1.61	1.66	1.67
<b>Resistencia kg/cm<sup>2</sup></b>	16.46	16.91	17.01
<b>f'c promedio (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	16.80		
<b>Desviación Estándar</b>	0.29		
<b>f'c característica (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	16.40		

## Ensayo Brasilero

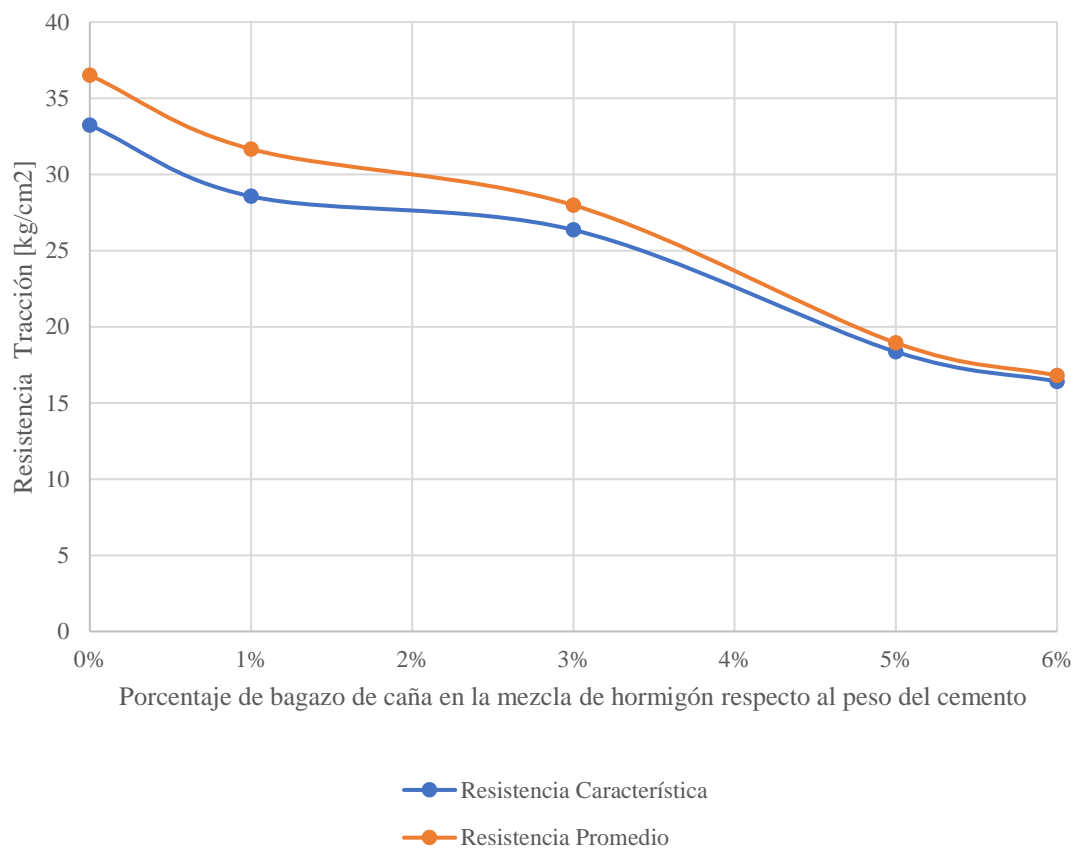


Figura 3. 24. Resultados de ensayo brasilero

## **4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN**

En el análisis de resultados se establecerá la influencia de la adicción de la fibra de bagazo de caña en estado natural en el hormigón, como material que ayude a mejorar el comportamiento a tracción, en base a esta se establece una comparativa entre los resultados de los ensayos; además se agrega observaciones durante el proceso de elaboración de la mezcla de hormigón.

### **4.1. ANÁLISIS MEZCLA FRESCA DE HORMIGÓN**

- Según la figura 2.37 podemos observar que la mezcla de hormigón, una vez que sale de la concreteira, al aumentar el porcentaje de fibras, pierde trabajabilidad, esto se debe a que la fibra se encarga de entrelazar la mezcla, siempre tratando que esta se encuentre distribuida de manera homogénea, de esta forma se procede a colocar en los cilindros y vigas.
- En la mezcla de hormigón, al saturar la fibra con un valor de 3.5 por gramo de fibra de bagazo de caña, se busca mantener el asentamiento necesario para un pavimento rígido, con un  $f'c$  de 300 kg/cm<sup>2</sup>; esto significa que, al introducir la fibra a la concreteira en estado húmedo, sin agregar más agua a la mezcla, no existirá mayor afectación al asentamiento estimado de 7.5 cm.

### **4.2. ANÁLISIS DE LOS CILINDROS Y VIGAS A LOS 28 DIAS**

- Al momento de ensayar los cilindros y vigas a los 28 días, los especímenes de hormigón han pasado durante ese lapso de tiempo en el cuarto de curado, asegurando así la menor pérdida de agua posible.
- En las figuras 2.38, 2.39, 2.40, 2.41, se puede observar la distribución de la fibra en un cubo representativo de la mezcla.
- A los 28 días existe una especie de poros, debido a la pérdida de agua que tienen las fibras, esto produce un proceso de contracción que aumenta cuando el porcentaje de fibra es mayor; al presentarse estas características se puede analizar que es un indicativo de la posible pérdida de resistencia.

### **4.3. RESULTADOS DE ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE**

- En la tabla 4.1, se establece el evidente decremento de la resistencia al aumentar la fibra, esto nos indica que mientras mayor sea la fibra agregada a la dosificación va a existir mayor variación en la resistencia. El cálculo del  $f'c$  Promedio y el  $f'c$  característico, muestra la desviación que existe debido al número de ensayos que se realiza para cada dosificación.
- En la compresión simple la resistencia tiende a disminuir de manera progresiva, como se puede evidenciar en los porcentajes de decremento obtenidos, esta disminución se estabiliza al aumentar la fibra de manera proporcional.

Tabla 4.1. Resumen de resultados de ensayo de compresión simple

<b>Porcentaje de fibra</b>	<b><math>f'c</math> Promedio</b>	<b>Porcentaje Decremento respecto al 0% de fibra</b>	<b><math>f'c</math> característica</b>	<b>Porcentaje Decremento respecto al 0% de fibra</b>
<b>%</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
0%	315.95	0.00	309.54	0.00
1%	238.37	24.55	228.70	26.12
3%	215.62	31.75	208.13	32.76
5%	159.76	49.43	150.95	51.24
6%	123.35	60.96	116.82	62.26

- En la gráfica 3.4, se observa el decremento de manera proporcional al porcentaje de fibra, se puede notar que no existe una diferencia notable entre el  $f'c$  característica y el  $f'c$  promedio, esto nos muestra concordancia en los cilindros de hormigón con adición de la fibra.

#### **4.4. RESULTADOS DE ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD**

En el ensayo de módulo de elasticidad podemos observar un decremento a medida que el contenido de fibra de bagazo de caña es mayor en la mezcla de hormigón, esto se debe a que la resistencia a la compresión disminuye con la adición de dicha fibra.

Tabla 4.2. Resumen de resultados de ensayo de módulo de elasticidad.

Porcentaje de fibra	Porcentaje		Porcentaje	
	E promedio	respecto al 0% de fibra.	E característico	respecto al 0% de fibra.
%	kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%
0	260574.42	0.00	259283.81	0.00
1	232316.47	10.84	231247.48	10.81
3	214956.61	17.51	213111.67	17.81
5	177955.88	31.71	175089.72	32.47
6	170137.54	34.71	158264.89	38.96

Los valores de  $\alpha$  del módulo de elasticidad decrecen a medida que aumenta el porcentaje de fibra bagazo de caña; sin embargo, los valores son muy cercanos con un decremento porcentual máximo de 1.22%.

Tabla 4.3. Resumen de valores  $\alpha$  del Módulo de Elasticidad.

Porcentaje de fibra	$\alpha$	Porcentaje de decremento respecto al 0% de fibra.
%	-	%
0	14496.91	0.00
1	14457.67	0.27
3	14416.03	0.56
5	14364.69	0.91
6	14320.42	1.22

#### **4.5. RESULTADOS DE ENSAYO DE FLEXIÓN EN VIGAS**

- En el ensayo de vigas se puede observar como el decremento es del 36.68% en el  $f'c$  promedio y del 39.66% en el  $f'c$  característica, dando a entender que la desviación es del 3% entre los dos, siendo este valor el de mayor diferencia, ya que en los demás porcentajes se encuentra una diferencia no mayor al 1%.
- En el 6% de porcentaje de fibra, se presentaba una mayor distribución de la fibra por todo el espécimen de hormigón, esto genera que exista una mayor cantidad de poros.

Tabla 4.4. Resumen de resultados de ensayo de flexión en vigas

Porcentaj e de fibra	$f'c$ Promedio	Porcentaje	$f'c$ característica	Porcentaje
		Decremento respecto al 0% de fibra		Decremento respecto al 0% de fibra
%	kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%
0%	49.32	0.00	46.46	0.00
1%	44.52	9.73	42.48	8.56
3%	38.30	22.34	35.67	23.23
5%	32.31	34.49	30.39	34.58
6%	31.23	36.68	28.03	39.66

- En la figura 3.5 se observa de mejor manera el decremento de la resistencia a flexión en vigas, evidenciando que mientras mayor es el porcentaje de fibra, mayor es el decremento que se obtiene.

#### **4.6. RESULTADOS DE ENSAYO TRACCIÓN INDIRECTA “MÉTODO BRASILEIRO”**

- En el método de tracción indirecta “método brasileiro”, el decremento se presenta por el aumento de la fibra, es decir, a mayor porcentaje de esta, mayor va a ser la disminución de la resistencia en la muestra.

Tabla 4.5. Resumen de resultados de ensayo de tracción “Método Brasileiro”

Porcentaje de fibra %	f'c Promedio kg/cm <sup>2</sup>	Porcentaje Decremento respecto al 0% de fibra	
		f'c característica kg/cm <sup>2</sup>	Porcentaje Decremento respecto al 0% de fibra %
0	36.51	33.23	0.00
1	31.67	28.56	13.26
3	27.98	26.36	23.35
5	18.94	18.36	48.11
6	16.80	16.40	54.00

- Como se observa en la figura 3.24, el decremento de resistencia es proporcional a la cantidad de fibra en la mezcla de hormigón. La desviación que presenta el f'c promedio y el f'c característica, es mayor mientras aumenta el porcentaje de fibra.

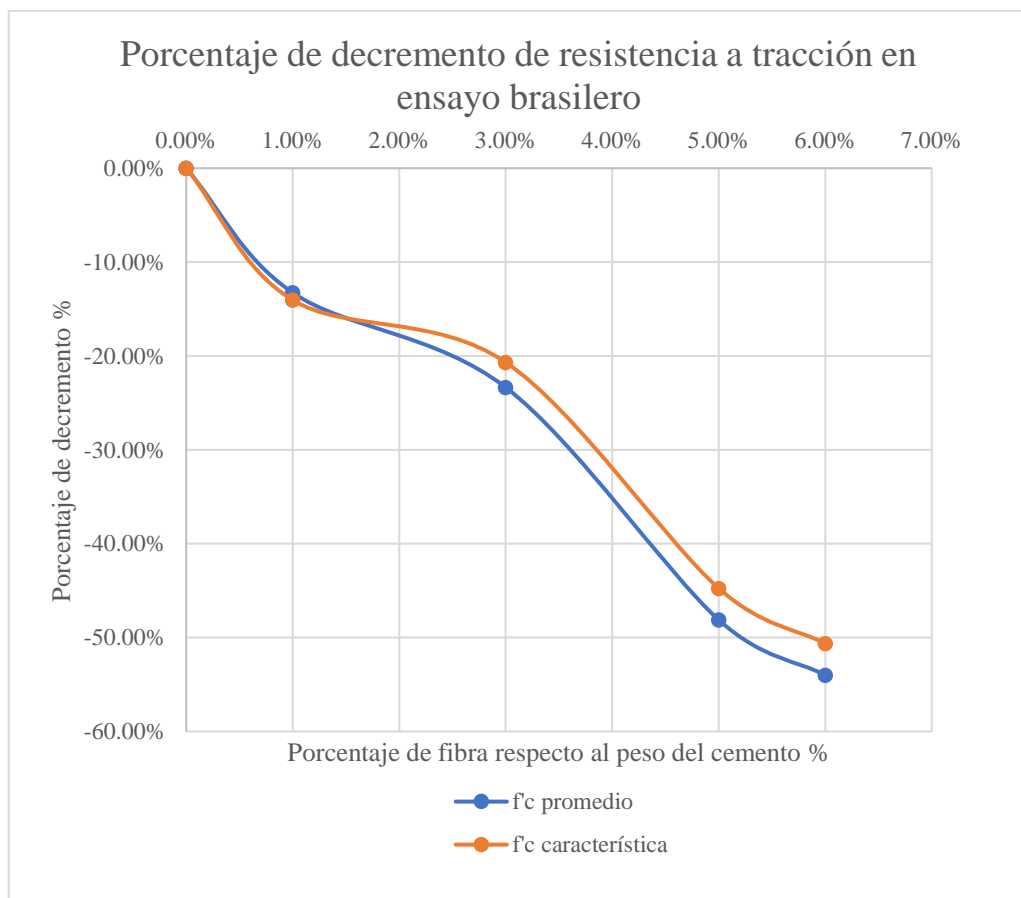


Figura 4. 1. Decremento porcentual ensayo brasileiro

## 5. CONCLUSIONES

- Según la tabla 5.1 se concluye que el agregado fino de las canteras de Holcim-Pifo, es apto para ser utilizado en la presente investigación, cumpliendo con los requisitos dispuestos en la normativa INEN 872:2011, teniendo en cuenta que los valores obtenidos en el equivalente de arena y porcentaje pasante del tamiz #200, no cumplen con las especificaciones; sin embargo, sus resultados son muy cercanos a los límites establecidos, por lo tanto, se puede aceptar para la fabricación de hormigones.

Tabla 5.1. Resumen ensayos agregado fino.

ENSAYO	RESULTADOS	DISPOSICIÓN INEN 872:2011	COMPROBACIÓN
Contenido Orgánico, [ppm].	<500	Menor o igual a 500	Cumple
Porcentaje pasante el tamiz #200, [%].	13.23	Menor al 5%	No Cumple
Contenido de terrones de arcilla, [%].	1.03	Menor o igual al 3%	Cumple
Peso Unitario Suelto, [g/cm <sup>3</sup> ].	1.525	N/A	N/A
Peso Unitario Compacto, [g/cm <sup>3</sup> ].	1.686	N/A	N/A
Equivalente de arena, [%].	86.61	Mayor o igual al 90%	No cumple
Gravedad Específica	2.44	N/A	N/A
Durabilidad a los sulfatos, [%].	9.55	Menor o igual al 10%	Cumple
Absorción del agregado, [%]	5.597	N/A	N/A

- De acuerdo con los resultados de la tabla 5.2 del agregado grueso de la cantera de Holcim-Pifo, se concluye que él material es apto para su utilización en la realización del hormigón cumpliendo con las disposiciones de la normativa INEN 872:2011.

Tabla 5.2. Resumen ensayos agregado grueso.

ENSAYO	RESULTADOS	DISPOSICIÓN INEN 872:2011	COMPROBACIÓN
Contenido de terrones de arcilla, [%].	0.58	No mayor al 3%	Cumple
Peso Unitario Suelto, [g/cm <sup>3</sup> ].	1.32	N/A	N/A
Peso Unitario Compacto, [g/cm <sup>3</sup> ].	1.406	N/A	N/A
Gravedad Específica	2.41	N/A	N/A
Durabilidad a los sulfatos, [%].	2.04	Menor o igual al 12%	Cumple
Absorción del agregado, [%]	2.804	N/A	N/A
Desgaste Maquina de los Ángeles, [%].	26.1	Menor o igual al 50%	Cumple

- De acuerdo a los resultados de la tabla 5.3, se concluye que el cemento Holcim cumple con todas las especificaciones de la normativa ASTM C595-C595M-21, por lo tanto, es apto para el uso en la presente investigación.

Tabla 5.3. Resumen ensayos de cemento.

ENSAYO	RESULTADO S	ESPECIFICACIÓN ASTM C595-C595M- 21	COMPROBACIÓN N
Finura Blaine, [m <sup>2</sup> /kg].	401.69	260-430	Cumple
Tiempo de Fraguado, Vicat [min].	228	45-420	Cumple
Gravedad Específica del Cemento	2.91	N/A	N/A
Compresión Morteros, 7mo día, [MPa].	20.49	No menor a 20	Cumple

- En el ensayo de compresión simple de las muestras de hormigón sin contenido de fibra de bagazo de caña en estado natural, se obtuvo una resistencia promedio de 315.95 kg/cm<sup>2</sup> y resistencia característica de 309.54 kg/cm<sup>2</sup> (ver tabla 4.1), obteniendo así resistencias aceptables, tomando en cuenta que la resistencia esperada fue de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

- En las muestras cilíndricas de hormigón con el 1% de fibra de bagazo de caña en estado natural respecto al peso del cemento de la mezcla, ensayadas a compresión simple, se obtuvo un decremento del 24.55% de resistencia promedio y del 26.12% de resistencia característica, respecto a las muestras normales sin contenido de fibra (Tabla 4.1).
- En el ensayo de compresión simple de las muestras de hormigón con el 3% de fibra de bagazo de caña, se obtuvo 215,62 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia promedio y 208,13 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia característica, lo que representa un decremento del 31,75 % y 32,76 % respectivamente, respecto a las muestras sin contenido de fibra (véase tabla 4.1)
- Si se observa los resultados del ensayo de compresión simple de las muestras de hormigón con el 5% de fibra de bagazo de caña en relación con el peso del cemento de la mezcla, podemos ver un decremento del 49.49% de resistencia promedio y de 51.24% en la resistencia característica, respecto a las muestras sin contenido de dicha fibra (tabla 4.1).
- En el ensayo de compresión simple de las muestras de hormigón con el 6% de fibra, se obtuvo 123.35 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia promedio y 116.82 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia característica, lo que significa un decremento del 60.96 % y 62.26 % respectivamente, en relación con las muestras sin contenido de fibra (ver tabla 4.1)
- En la figura 5.1 se observa que la adición de fibra reduce la resistencia a la compresión simple de manera lineal a partir del 3%. La variación del 0% respecto al 1%, es provocada debido a la incorporación de fibra a la mezcla.

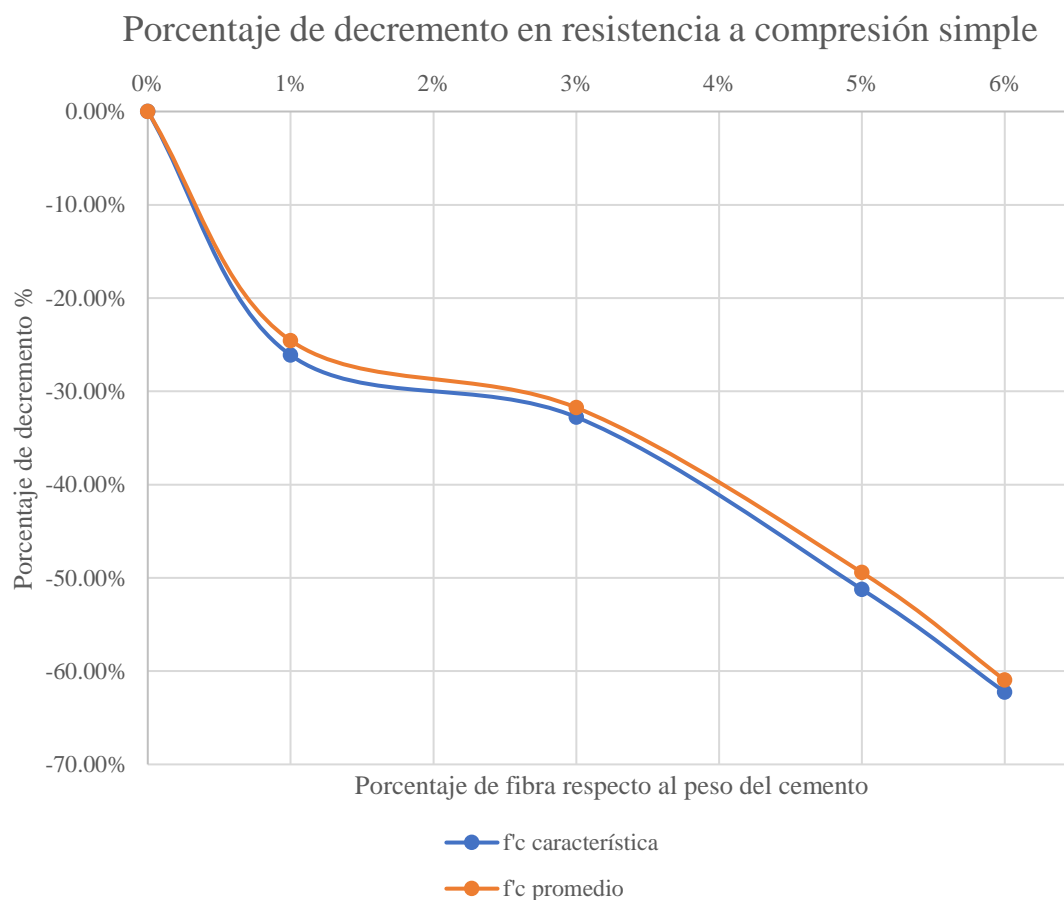


Figura 5. 1. Porcentaje de decremento en ensayo de compresión simple

- En las vigas de hormigón adicionadas el 1% de fibra con respecto al peso del cemento de la mezcla, ensayadas a flexión, se presentó un decremento del 9.73% y del 8.56% en su resistencia promedio y característica respectivamente, referente a las vigas sin contenido de la fibra (tabla 4.5).
- En el ensayo de flexión en vigas de con adición del 3% de fibra de bagazo de caña, se obtuvo 38.30 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia característica y 35.67 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia promedio, resultando en un decremento del 22.34% y del 23.23% respectivamente (ver tabla 4.5).

- En los resultados de las vigas con el 5% de fibra, podemos observar un decremento del 34.49% de resistencia promedio y 34.58% de resistencia característica (véase tabla 4.5).
- En las vigas con el 6% de fibra, ensayadas a flexión, se obtuvo una resistencia promedio de 31.23 kg/cm<sup>2</sup> y una resistencia característica de 28.03 kg/cm<sup>2</sup>, significando un decremento del 36.68% y del 39.66% respectivamente, con relación a las vigas sin contenido de fibra de bagazo de caña (tabla 4.5)
- Se observa en la figura 5.2 que a medida que incrementa el porcentaje de fibra en la mezcla, la resistencia a la flexión decrece. La curva de resistencia característica decrece de manera lineal y la de resistencia promedio decrece de manera polinómica de segundo grado.

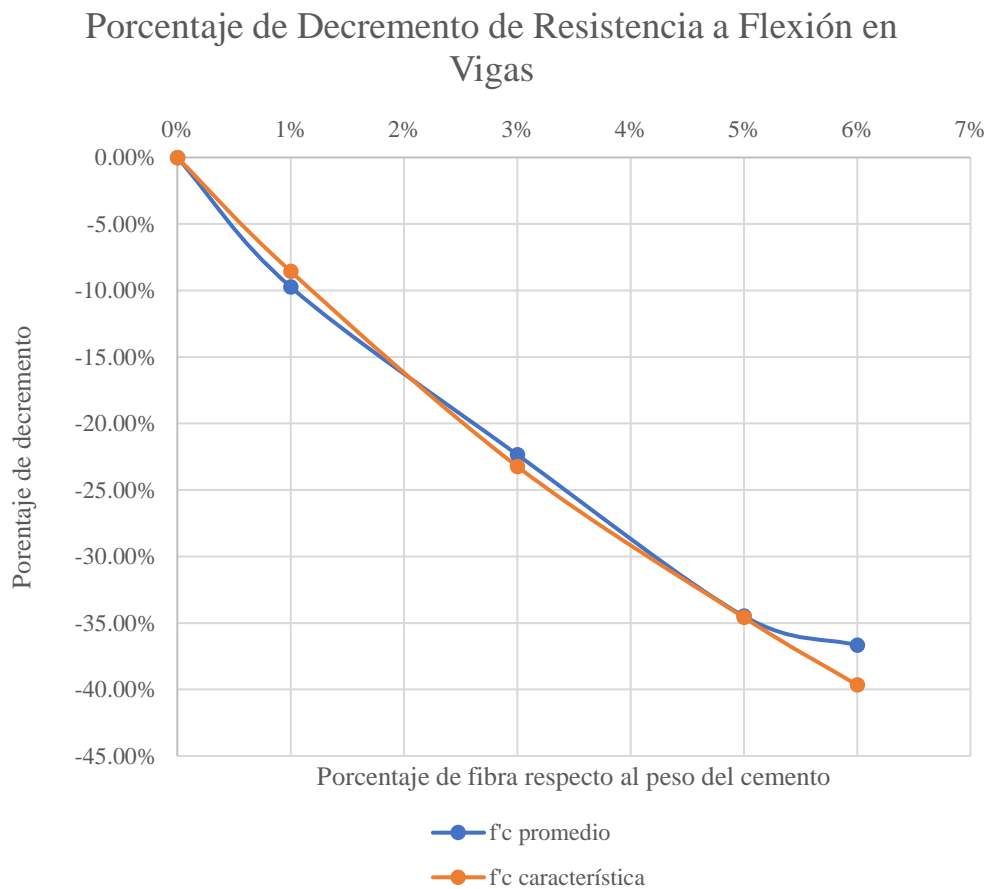


Figura 5. 2. Porcentaje de decremento en flexión en vigas.

- De acuerdo a la expresión del módulo de elasticidad del hormigón presentada en el acápite 2.1.3.1.1, los valores calculados de  $\alpha$  van disminuyendo, a medida que aumenta el porcentaje de fibra, este valor decrece de una manera no muy significativa; es así, que va del 0.27% al 1.22% (ver tabla 4.3). Por lo que, se concluye que el módulo de elasticidad del hormigón no cambia con la adición de bagazo de caña.
- En las muestras de hormigón con el 1% de fibra, ensayadas con el método brasilero de tracción indirecta, se presentó una resistencia promedio de 31,67 kg/cm<sup>2</sup> y una resistencia característica de 28,56 kg/cm<sup>2</sup>, significando un decremento del 13.26% y 14.05% respectivamente, respecto a las muestras sin adición de fibra (ver tabla 4.6).
- Si se observan los resultados de tracción de las muestras con adición del 3% de fibra, se puede ver un decremento en la resistencia promedio del 23.35% y del 20.68% de la resistencia característica (Tabla 4.6).
- En el ensayo de las muestras de hormigón con el 5% de fibra, se obtuvo un decremento de resistencia promedio y característica del 48.11% y 44.76% respectivamente, en relación con las muestras sin adición de fibra (véase tabla 4.6).
- Se observó que en las muestras de hormigón con el 6% de adición de fibra, ensayadas con el método brasilero, el resultado de resistencia promedio es 16,80 kg/cm<sup>2</sup> y de resistencia característica es 16,40 kg/cm<sup>2</sup>, significando un decremento del 54,00% y 50.63% respectivamente (Tabla 4.6).
- De lo expuesto anteriormente, se observa que mientras se incrementa el porcentaje de fibras, la resistencia decrece de manera paulatina, esto se explica debido a que esta resistencia está íntimamente ligada a la de compresión.

Tabla 5.4. Comparación en porcentaje de tracción por flexión y método brasileiro, con compresión simple.

Porcentaje de Fibra	Ensayo de Compresión	Ensayo de Tracción por Flexión	Ensayo de Tracción por Método Brasileiro	% de tracción por flexión respecto a la compresión	% de tracción por Método Brasileiro respecto a la compresión
%	f'c Promedio	f'c Promedio	f'c Promedio	f'c Promedio	f'c Promedio
0%	315.95	49.32	36.51	15.61%	11.55%
1%	238.37	44.52	31.67	18.68%	13.28%
3%	215.62	38.30	27.98	17.76%	12.98%
5%	159.76	32.31	18.94	20.22%	11.86%
6%	123.35	31.23	16.80	25.32%	13.62%

- Al analizar los valores presentados en la tabla 5.4, se puede observar que la adición de fibra aumenta ligeramente el porcentaje de tracción respecto a la compresión simple, mostrando una tendencia lineal del 18.68% a 20.22% en tracción por flexión en vigas y en tracción por el método brasileiro de 13.28% a 13.62% mostrando una tendencia estable en los valores.

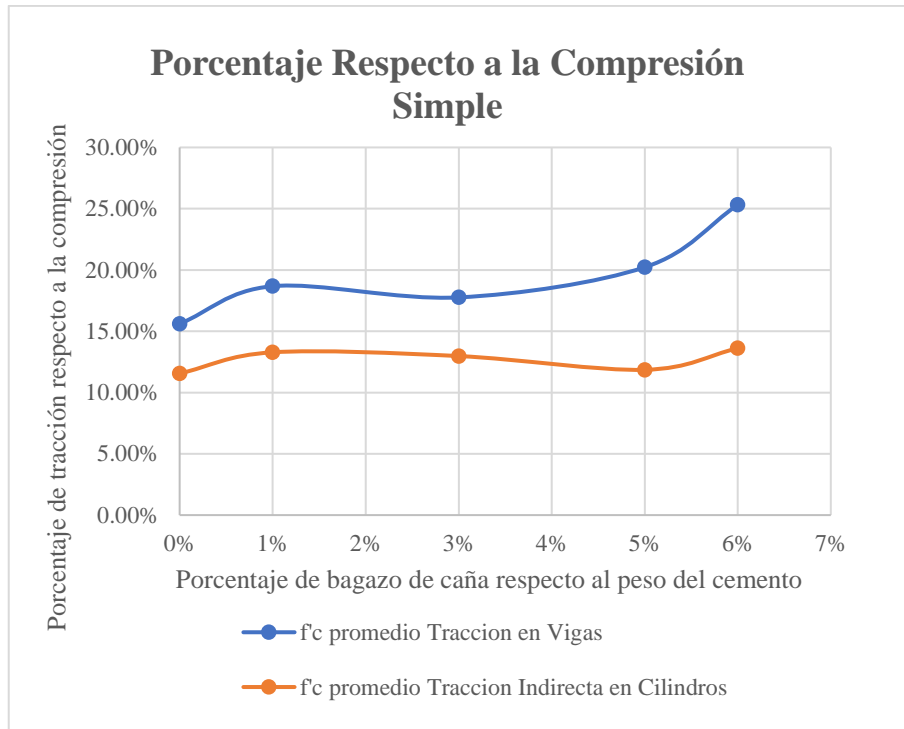


Figura 5. 3. Porcentaje de tracción respecto a la compresión.

- En base de los resultados y análisis realizados en la tesis, se concluye que la adición de fibra de bagazo de caña en estado natural no mejora las propiedades del hormigón, más bien las disminuye.

## 6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el laboratorio donde se realicen los ensayos de materiales y muestras de hormigón tenga sus equipos debidamente normados y calibrados.
- Se recomienda que se continúe con esta investigación, usando fibras de bagazo de caña químicamente tratadas, con el objeto de que se disminuya su capacidad de absorción; por cuanto, se prevé que en esta condición la fibra puede trabajar mejor en el hormigón.
- Para obtener una dosificación con las características de diseño requeridas, se recomienda seguir los procedimientos indicados en el Método de ensayo escogido para el Trabajo, en nuestro caso el ACI 211.1
- Se recomienda adicionar la fibra de manera paulatina buscando que se distribuya de manera homogénea entre los agregados de la mezcla de hormigón.

## 7. COMENTARIOS

- Se realizaron dosificaciones con relaciones agua cemento de 0.35, 0.4, 0.45, con el fin de establecer una curva de resistencia versus relación agua cemento, determinando así un valor de 0.43 para una resistencia esperada de 300 kg/cm<sup>2</sup>.
- La humedad de los agregados tanto finos como gruesos, debe ser cuidadosamente controlada, puesto que, influye directamente en la consistencia del hormigón, alterando el asentamiento esperado y la relación agua cemento.
- Al momento de la elaboración de las muestras de hormigón, la fibra presenta distribución no homogénea debido a sus características físicas, por lo tanto, estas tienden a salir a la superficie debido a su baja densidad.
- En el ensayo de compresión simple de las muestras sin fibra se observó una rotura explosiva, debido los esfuerzos internos generados en los cilindros con una resistencia superior a 300 kg/cm<sup>2</sup>; a diferencia de las muestras que contienen fibra bagazo de caña, la cual mitiga el agrietamiento.
- A medida que se aumenta el porcentaje de fibra de bagazo de caña, la resistencia en los especímenes de hormigón del 3%, 5%, 6%, decrecen proporcionalmente.
- En las figuras 2.38, 2.39, 2.40, 2.41, se puede observar que se produce porosidad debido a la pérdida de agua que tienen las fibras al momento del proceso de fraguado, siendo una posible causa de la disminución de resistencia.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute. (2014). *ACI 318S-14*.
- American Society for Testing and Materials. (1995). *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement "ASTM C188-95"*. West Conshohocken .
- American Society for Testing and Materials. (2014). *ASTM C469/C469M-14 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*. . Filadelfia .
- ASTM C127, S. T. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos.
- Carrión L.; Ordoñez J.; Duran J.; Farias J. (2019). *Hormigón reforzado con fibra natural de caña de azúcar y su resistencia a la compresión*. Obtenido de Investigacion.utmachala : <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/issue/archi>
- Delatte, N. (2008). The Beginnings. En N. Delatte, *Concrete Pavement Design, Construction, and Performance*. (págs. 1-5). New York: Taylor & Francis.
- Instituto de Normalización Ecuatoriano, I. (14 de Junio de 2010). *Norma Técnica Ecuatoriana INEN 857:2010*. Obtenido de Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción del Árido Fino: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/NTE\\_INEN\\_857.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/NTE_INEN_857.pdf)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización . (14 de Junio de 2010). *Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1 573:2010*. Obtenido de Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la compresión de especímenes cilindricos de hormigón de cemento hidráulico.: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1573.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización . (26 de Mayo de 2011). *Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2554:2011*. Obtenido de Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón. ( Utilizando una viga simple con carga en los tercios): <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2554.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización . (3 de Enero de 2013). *NTE INEN 2648:2013*. Obtenido de Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la tracción por compresión diametral de especímenes cilíndricos de hormigón. : <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2648.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). *Cemento Hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat. NTE INEN 158:2009*. Quito .
- J Porrero. C Ramos. J Grases. G Velazco. (2009). *Manual del Concreto Estructural*. Caracas: Impresos Minipres, C.A.
- Karen Carrera, Daniel Zea. (2018). *Evaluación de las propiedades mecánicas de la mezcla de hormigón y fibras de acero dramix 3d en diferentes dosificaciones para la*

*aplicación en pavimentos rígidos, utilizando cemento puzolánico he y agregados de la planta Holcim Pifo-Quito.* Obtenido de Evaluación de las propiedades mecánicas de la mezcla de hormigón y fibras de acero dramix 3d en diferentes dosificaciones para la aplicación en pavimentos rígidos, utilizando cemento puzolánico he y agregados de la planta Holcim Pifo-Quito: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14620>

Kosmatka S. Kerkhoff B. Panarese W. Tanesi J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto.* Skokie, Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.

Lara Carrera, L. (2018). *Guía de prácticas de Laboratorio de Hormigones.* Quito.

McCormac, J., & Brown, R. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado.* México D F.: Alfaomega.

Mejía García, M. A., Chinchilla Rivera, V. P., & Mendoza Barrios, C. M. (Octubre de 2012). *Determinación de la Resistencia a la compresión de mortero empleando especímenes cilíndricos y cubicos, utilizando arena del occidente del país.* Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/15315/1/TESIS%20DETERMINACI%C3%93N%20DE%20LA%20RESISTENCIA%20A%20LA%20COMPRESI%C3%93N%20DE%20MORTERO%20EMPLEANDO%20ESPECIMENES%20CIL%C3%8DNDRICO.pdf>

Nawy, E. (1988). *Concreto Reforzado Un Enfoque Básico* . México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.

Norma Técnica Ecuatoria INEN 697, I. E. (14 de Junio de 2010). *Norma Técnica Ecuatoria INEN 697;2010.* Obtenido de Áridos. Determinación del Material más Fino que Pasa el Tamiz con Abertura de 75um (No. 200) Mediante Lavado.: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_iso\\_697.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_697.pdf)

Normalización, I. E. (14 de Junio de 2010). *Norma Técnica Ecuatoriana INEN 698:2010.* Obtenido de Áridos para Hormigón. Determinacion del Contenido de Terrones de Arcilla y Partículas Desmenuzables: [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte\\_inen\\_iso\\_698.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_698.pdf)

Quinteros Vaca, O. N. (27 de Julio de 2020). *Caracterización del bagazo de caña de azúcar de variedades del Ingenio Azucarero Tababuela para Bioenergía.* Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10478/2/03%20IER%200006%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero.* Bogota: Bhandar Editores.

Universidad Centroamericana "Jose Simeon Cañas". (s.f.). *Determinación de la Finura del Cemento Portland Usando el Aparato de Permeabilidad al Aire de Blaine.* Obtenido de <https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoCemento/DETERMIN>

ACION%20DE%20LA%20FINURA%20DEL%20CEMENTO%20PORTLAND.pdf

Universidad Centroamericana "Jose Simeon Cañas". (s.f.). *Determinación del tiempo de fraguado Inicial y final del cemento*. Obtenido de <https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoCemento/Fraguado%20inicial%20y%20final%20del%20cemento.pdf>

## 8. ANEXOS

Tabla 8.1. Deformaciones del cilindro número 1 con 0% de fibra.

CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN				
CILINDRO (1) 0% DE FIBRA				
Carga [N]	Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura Dial Mm	Deformación mm	Deformación Unitaria
0	0.00	0	0	0
20000	11.45	0.013	0.00659	0.00003
40000	22.90	0.034	0.01723	0.00008
60000	34.35	0.062	0.03141	0.00015
80000	45.81	0.083	0.04205	0.00021
100000	57.26	0.107	0.05421	0.00027
120000	68.71	0.141	0.07144	0.00035
140000	80.16	0.164	0.08309	0.00041
160000	91.61	0.191	0.09677	0.00048
180000	103.06	0.219	0.11096	0.00055
200000	114.51	0.248	0.12565	0.00062
220000	125.97	0.277	0.14035	0.00069
240000	137.42	0.307	0.15555	0.00077
260000	148.87	0.338	0.17125	0.00084
280000	160.32	0.374	0.18949	0.00093
300000	171.77	0.408	0.20672	0.00102
320000	183.22	0.445	0.22547	0.00111
340000	194.67	0.483	0.24472	0.00121
360000	206.12	0.519	0.26296	0.00130
380000	217.58	0.558	0.28272	0.00139
400000	229.03	0.599	0.30349	0.00150
420000	240.48	0.64	0.32427	0.00160
440000	251.93	0.682	0.34555	0.00170
460000	263.38	0.729	0.36936	0.00182
480000	274.83	0.775	0.39267	0.00193
500000	286.28	0.825	0.41800	0.00206
520000	297.74	0.882	0.44688	0.00220
540000	309.19	0.947	0.47981	0.00236
560000	320.64	1.023	0.51832	0.00255
577000	330.37	1.127	0.57101	0.00281
560000	320.64	1.25	0.63333	0.00312
540000	309.19	1.31	0.66373	0.00327
520000	297.74	1.35	0.68400	0.00337

Tabla 8.2. Deformaciones del cilindro número 2 con 0% de fibra.

CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN				
CILINDRO (2) 0% DE FIBRA				
Carga [N]	Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura Dial Mm	Deformación mm	Deformación Unitaria
0	0.00	0	0.00000	0.00000
20000	11.12	0.01	0.00502	0.00002
40000	22.24	0.028	0.01404	0.00007
60000	33.36	0.047	0.02357	0.00012
80000	44.48	0.066	0.03310	0.00016
100000	55.60	0.089	0.04464	0.00022
120000	66.72	0.112	0.05618	0.00028
140000	77.84	0.137	0.06872	0.00034
160000	88.96	0.162	0.08126	0.00040
180000	100.08	0.189	0.09480	0.00047
200000	111.20	0.215	0.10784	0.00053
220000	122.32	0.242	0.12138	0.00060
240000	133.44	0.272	0.13643	0.00067
260000	144.55	0.301	0.15098	0.00074
280000	155.67	0.33	0.16552	0.00082
300000	166.79	0.361	0.18107	0.00089
320000	177.91	0.394	0.19762	0.00097
340000	189.03	0.425	0.21317	0.00105
360000	200.15	0.459	0.23023	0.00113
380000	211.27	0.496	0.24879	0.00123
400000	222.39	0.534	0.26785	0.00132
420000	233.51	0.575	0.28841	0.00142
440000	244.63	0.613	0.30747	0.00151
460000	255.75	0.658	0.33004	0.00163
480000	266.87	0.704	0.35311	0.00174
500000	277.99	0.752	0.37719	0.00186
520000	289.11	0.797	0.39976	0.00197
540000	300.23	0.86	0.43136	0.00212
550000	305.79	0.98	0.49155	0.00242
540000	300.23	1.1	0.55174	0.00272
520000	289.11	1.18	0.59187	0.00292
500000	277.99	1.25	0.62698	0.00309

Tabla 8.3. Deformaciones del cilindro número 3 con 0% de fibra.

CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN				
CILINDRO (3) 0% DE FIBRA				
Carga [N]	Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura Dial Mm	Deformación mm	Deformación Unitaria
0	0.00	0	0.00000	0.00000
20000	11.36	0.015	0.00740	0.00004
40000	22.72	0.033	0.01627	0.00008
60000	34.09	0.052	0.02564	0.00013
80000	45.45	0.075	0.03699	0.00018
100000	56.81	0.101	0.04981	0.00025
120000	68.17	0.125	0.06165	0.00030
140000	79.54	0.151	0.07447	0.00037
160000	90.90	0.179	0.08828	0.00043
180000	102.26	0.206	0.10159	0.00050
200000	113.62	0.235	0.11589	0.00057
220000	124.98	0.264	0.13020	0.00064
240000	136.35	0.295	0.14548	0.00072
260000	147.71	0.325	0.16028	0.00079
280000	159.07	0.358	0.17655	0.00087
300000	170.43	0.391	0.19283	0.00095
320000	181.79	0.424	0.20910	0.00103
340000	193.16	0.46	0.22686	0.00112
360000	204.52	0.495	0.24412	0.00120
380000	215.88	0.531	0.26187	0.00129
400000	227.24	0.571	0.28160	0.00139
420000	238.61	0.613	0.30231	0.00149
440000	249.97	0.658	0.32450	0.00160
460000	261.33	0.706	0.34818	0.00172
480000	272.69	0.757	0.37333	0.00184
500000	284.05	0.809	0.39897	0.00197
520000	295.42	0.875	0.43152	0.00213
540000	306.78	0.941	0.46407	0.00229
560000	318.14	1.018	0.50205	0.00247
580000	329.50	1.125	0.55481	0.00273
588000	334.05	1.207	0.59525	0.00293
580000	329.50	1.301	0.64161	0.00316
560000	318.14	1.37	0.67564	0.00333
540000	306.78	1.42	0.70030	0.00345

Tabla 8.4. Deformaciones del cilindro número 1 con 1% de fibra.

CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN				
CILINDRO (1) 1% DE FIBRA				
Carga [N]	Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura Dial Mm	Deformación mm	Deformación Unitaria
0	0.00	0	0.00000	0.00000
20000	11.19	0.017	0.00842	0.00004
40000	22.39	0.038	0.01883	0.00009
60000	33.58	0.063	0.03121	0.00015
80000	44.77	0.092	0.04558	0.00022
100000	55.97	0.12	0.05946	0.00029
120000	67.16	0.151	0.07482	0.00037
140000	78.35	0.182	0.09018	0.00044
160000	89.55	0.215	0.10653	0.00052
180000	100.74	0.249	0.12337	0.00061
200000	111.93	0.285	0.14121	0.00070
220000	123.13	0.323	0.16004	0.00079
240000	134.32	0.363	0.17986	0.00089
260000	145.51	0.405	0.20067	0.00099
280000	156.71	0.446	0.22098	0.00109
300000	167.90	0.49	0.24278	0.00120
320000	179.10	0.535	0.26508	0.00131
340000	190.29	0.584	0.28935	0.00143
360000	201.48	0.637	0.31561	0.00155
380000	212.68	0.695	0.34435	0.00170
400000	223.87	0.763	0.37804	0.00186
420000	235.06	0.847	0.41966	0.00207
432400	242.00	0.968	0.47962	0.00236
420000	235.06	1.08	0.53511	0.00264
400000	223.87	1.17	0.57970	0.00286
380000	212.68	1.24	0.61438	0.00303

Tabla 8.5. Deformaciones del cilindro número 2 con 1% de fibra.

CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN				
CILINDRO (2) 1% DE FIBRA				
Carga [N]	Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura Dial Mm	Deformación mm	Deformación Unitaria
0	0.00	0	0.00000	0.00000
20000	11.35	0.022	0.01099	0.00005
40000	22.70	0.045	0.02249	0.00011
60000	34.05	0.071	0.03548	0.00017
80000	45.40	0.097	0.04848	0.00024
100000	56.75	0.124	0.06197	0.00031
120000	68.10	0.152	0.07596	0.00037
140000	79.45	0.183	0.09146	0.00045
160000	90.80	0.214	0.10695	0.00053
180000	102.14	0.246	0.12294	0.00061
200000	113.49	0.279	0.13943	0.00069
220000	124.84	0.314	0.15693	0.00077
240000	136.19	0.348	0.17392	0.00086
260000	147.54	0.385	0.19241	0.00095
280000	158.89	0.422	0.21090	0.00104
300000	170.24	0.462	0.23089	0.00114
320000	181.59	0.501	0.25038	0.00123
340000	192.94	0.542	0.27087	0.00133
360000	204.29	0.584	0.29186	0.00144
380000	215.64	0.629	0.31435	0.00155
400000	226.99	0.675	0.33734	0.00166
420000	238.34	0.734	0.36683	0.00181
440000	249.69	0.794	0.39681	0.00195
460000	261.04	0.857	0.42830	0.00211
475430	269.79	1.02	0.50976	0.00251
460000	261.04	1.12	0.55973	0.00276
440000	249.69	1.19	0.59472	0.00293
420000	238.34	1.25	0.62470	0.00308

Tabla 8.6. Deformaciones del cilindro número 3 con 1% de fibra.

CARGA-ESFUERZO-DEFORMACIÓN				
CILINDRO (3) 1% DE FIBRA				
Carga [N]	Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura Dial Mm	Deformación mm	Deformación Unitaria
0	0.00	0	0.00000	0.00000
20000	11.27	0.02	0.01018	0.00005
40000	22.55	0.043	0.02189	0.00011
60000	33.82	0.067	0.03410	0.00017
80000	45.10	0.092	0.04682	0.00023
100000	56.37	0.119	0.06057	0.00030
120000	67.64	0.147	0.07482	0.00037
140000	78.92	0.175	0.08907	0.00044
160000	90.19	0.206	0.10485	0.00052
180000	101.47	0.239	0.12164	0.00060
200000	112.74	0.273	0.13895	0.00068
220000	124.01	0.305	0.15523	0.00076
240000	135.29	0.339	0.17254	0.00085
260000	146.56	0.377	0.19188	0.00095
280000	157.84	0.415	0.21122	0.00104
300000	169.11	0.455	0.23158	0.00114
320000	180.38	0.494	0.25143	0.00124
340000	191.66	0.537	0.27331	0.00135
360000	202.93	0.579	0.29469	0.00145
380000	214.21	0.625	0.31810	0.00157
400000	225.48	0.672	0.34203	0.00168
420000	236.75	0.721	0.36696	0.00181
440000	248.03	0.771	0.39241	0.00193
469450	264.63	0.94	0.47843	0.00236
440000	248.03	1.09	0.55477	0.00273
420000	236.75	1.18	0.60058	0.00296

Tabla 8.7. Deformaciones del cilindro número 1 con 3% de fibra.

CILINDRO (1) 3 % DE FIBRA				
Carga [N]	Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura Dial Mm	Deformación mm	Deformación Unitaria
0	0.00	0	0.00000	0.00000
20000	11.17	0.023	0.01150	0.00006
40000	22.33	0.05	0.02500	0.00012
60000	33.50	0.079	0.03950	0.00019
80000	44.67	0.111	0.05550	0.00027
100000	55.83	0.144	0.07200	0.00035
120000	67.00	0.179	0.08950	0.00044
140000	78.16	0.217	0.10850	0.00053
160000	89.33	0.255	0.12750	0.00063
180000	100.50	0.295	0.14751	0.00073
200000	111.66	0.338	0.16901	0.00083
220000	122.83	0.381	0.19051	0.00094
240000	134.00	0.426	0.21301	0.00105
260000	145.16	0.479	0.23951	0.00118
280000	156.33	0.529	0.26451	0.00130
300000	167.49	0.589	0.29451	0.00145
320000	178.66	0.651	0.32551	0.00160
340000	189.83	0.715	0.35751	0.00176
360000	200.99	0.797	0.39852	0.00196
380000	212.16	0.898	0.44902	0.00221
400000	223.33	1.039	0.51952	0.00256
403100	225.06	1.124	0.56202	0.00277
400000	223.33	1.192	0.59602	0.00294
380000	212.16	1.335	0.66753	0.00329
360000	200.99	1.43	0.71503	0.00352

Tabla 8.8. Deformaciones del cilindro número 2 con 3% de fibra.

CILINDRO (2) 3 % DE FIBRA				
Carga [N]	Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura Dial mm	Deformación mm	Deformación Unitaria
0	0.00	0	0.00000	0.00000
20000	10.96	0.021	0.01037	0.00005
40000	21.93	0.049	0.02419	0.00012
60000	32.89	0.078	0.03851	0.00019
80000	43.86	0.108	0.05332	0.00026
100000	54.82	0.139	0.06862	0.00034
120000	65.79	0.174	0.08590	0.00042
140000	76.75	0.207	0.10219	0.00050
160000	87.72	0.244	0.12045	0.00059
180000	98.68	0.285	0.14070	0.00069
200000	109.65	0.323	0.15945	0.00079
220000	120.61	0.367	0.18118	0.00089
240000	131.58	0.413	0.20388	0.00100
260000	142.54	0.462	0.22807	0.00112
280000	153.51	0.516	0.25473	0.00125
300000	164.47	0.568	0.28040	0.00138
320000	175.44	0.621	0.30657	0.00151
340000	186.40	0.695	0.34310	0.00169
360000	197.37	0.77	0.38012	0.00187
380000	208.33	0.851	0.42011	0.00207
400000	219.30	0.984	0.48577	0.00239
410340	224.96	1.144	0.56476	0.00278
400000	219.30	1.25	0.61708	0.00304
380000	208.33	1.32	0.65164	0.00321
360000	197.37	1.38	0.68126	0.00336

Tabla 8.9. Deformaciones del cilindro número 3 con 3% de fibra.

CILINDRO (3) 3 % DE FIBRA				
Carga [N]	Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura Dial Mm	Deformación mm	Deformación Unitaria
0	0.00	0	0.00000	0.00000
20000	11.39	0.024	0.01208	0.00006
40000	22.79	0.054	0.02717	0.00013
60000	34.18	0.085	0.04277	0.00021
80000	45.57	0.118	0.05937	0.00029
100000	56.97	0.152	0.07648	0.00038
120000	68.36	0.19	0.09560	0.00047
140000	79.75	0.229	0.11522	0.00057
160000	91.14	0.269	0.13535	0.00067
180000	102.54	0.313	0.15748	0.00078
200000	113.93	0.359	0.18063	0.00089
220000	125.32	0.408	0.20528	0.00101
240000	136.72	0.462	0.23245	0.00115
260000	148.11	0.522	0.26264	0.00129
280000	159.50	0.587	0.29534	0.00145
300000	170.90	0.667	0.33560	0.00165
320000	182.29	0.754	0.37937	0.00187
340000	193.68	0.869	0.43723	0.00215
360000	205.07	0.99	0.49811	0.00245
381100	217.09	1.15	0.57861	0.00285
360000	205.07	1.28	0.64402	0.00317
340000	193.68	1.36	0.68427	0.00337
320000	182.29	1.43	0.71949	0.00354

Tabla 8.10. Deformaciones del cilindro número 1 con 5% de fibra

CILINDRO (1) 5 % DE FIBRA				
Carga [N]	Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura Dial mm	Deformación mm	Deformación Unitaria
0	0.00	0	0.00000	0.00000
20000	11.57	0.029	0.01464	0.00007
40000	23.14	0.061	0.03079	0.00015
60000	34.71	0.094	0.04745	0.00023
80000	46.28	0.132	0.06664	0.00033
100000	57.85	0.172	0.08683	0.00043
120000	69.43	0.215	0.10854	0.00053
140000	81.00	0.259	0.13075	0.00064
160000	92.57	0.311	0.15700	0.00077
180000	104.14	0.361	0.18224	0.00090
200000	115.71	0.421	0.21253	0.00105
220000	127.28	0.489	0.24686	0.00122
240000	138.85	0.572	0.28876	0.00142
260000	150.42	0.681	0.34379	0.00169
278470	161.11	0.916	0.46242	0.00228
260000	150.42	1.156	0.58358	0.00287
240000	138.85	1.291	0.65173	0.00321
220000	127.28	1.421	0.71736	0.00353

Tabla 8.11. Deformaciones del cilindro número 2 con 5% de fibra

CILINDRO (2) 5 % DE FIBRA				
Carga [N]	Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura Dial Mm	Deformación mm	Deformación Unitaria
0	0.00	0	0.00000	0.00000
20000	11.49	0.031	0.01530	0.00008
40000	22.98	0.065	0.03209	0.00016
60000	34.47	0.101	0.04986	0.00025
80000	45.96	0.144	0.07108	0.00035
100000	57.46	0.187	0.09231	0.00045
120000	68.95	0.235	0.11600	0.00057
140000	80.44	0.285	0.14068	0.00069
160000	91.93	0.343	0.16931	0.00083
180000	103.42	0.404	0.19943	0.00098
200000	114.91	0.487	0.24040	0.00118
220000	126.40	0.574	0.28334	0.00140
240000	137.89	0.711	0.35097	0.00173
249800	143.52	0.836	0.41267	0.00203
240000	137.89	1.031	0.50893	0.00251
220000	126.40	1.195	0.58989	0.00291
200000	114.91	1.29	0.63678	0.00314

Tabla 8.12. Deformaciones del cilindro número 3 con 5% de fibra

CILINDRO (3) 5 % DE FIBRA				
Carga [N]	Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura Dial mm	Deformación mm	Deformación Unitaria
0	0.00	0	0.00000	0.00000
20000	11.60	0.029	0.01454	0.00007
40000	23.21	0.064	0.03208	0.00016
60000	34.81	0.103	0.05163	0.00025
80000	46.41	0.145	0.07268	0.00036
100000	58.02	0.189	0.09474	0.00047
120000	69.62	0.238	0.11930	0.00059
140000	81.22	0.292	0.14637	0.00072
160000	92.83	0.347	0.17394	0.00086
180000	104.43	0.404	0.20251	0.00100
200000	116.03	0.477	0.23910	0.00118
220000	127.64	0.562	0.28171	0.00139
240000	139.24	0.665	0.33334	0.00164
260000	150.84	0.825	0.41354	0.00204
269500	156.36	1.047	0.52482	0.00259
260000	150.84	1.243	0.62306	0.00307
240000	139.24	1.403	0.70326	0.00346
220000	127.64	1.537	0.77043	0.00380

Tabla 8.13. Deformaciones del cilindro número 1 con 6% de fibra

CILINDRO (1) 6 % DE FIBRA				
Carga [N]	Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura Dial Mm	Deformación mm	Deformación Unitaria
0	0.00	0	0.00000	0.00000
20000	10.98	0.037	0.01840	0.00009
40000	21.96	0.084	0.04178	0.00021
60000	32.94	0.131	0.06516	0.00032
80000	43.91	0.185	0.09201	0.00045
100000	54.89	0.24	0.11937	0.00059
120000	65.87	0.305	0.15170	0.00075
140000	76.85	0.373	0.18552	0.00091
160000	87.83	0.458	0.22780	0.00112
180000	98.81	0.567	0.28201	0.00139
200000	109.78	0.728	0.36209	0.00178
218530	119.95	1.091	0.54263	0.00267
200000	109.78	1.452	0.72219	0.00356
180000	98.81	1.685	0.83807	0.00413
160000	87.83	1.91	0.94998	0.00468

Tabla 8.14. Deformaciones del cilindro número 2 con 6% de fibra.

CILINDRO (2) 6 % DE FIBRA				
Carga [N]	Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura Dial mm	Deformación mm	Deformación Unitaria
0	0.00	0	0.00000	0.00000
20000	11.34	0.031	0.01543	0.00008
40000	22.68	0.068	0.03385	0.00017
60000	34.03	0.104	0.05177	0.00026
80000	45.37	0.144	0.07168	0.00035
100000	56.71	0.188	0.09358	0.00046
120000	68.05	0.235	0.11698	0.00058
140000	79.39	0.286	0.14237	0.00070
160000	90.74	0.341	0.16974	0.00084
180000	102.08	0.403	0.20061	0.00099
200000	113.42	0.473	0.23545	0.00116
220000	124.76	0.555	0.27627	0.00136
240000	136.10	0.658	0.32754	0.00161
260000	147.44	0.827	0.41167	0.00203
269910	153.06	1.122	0.55851	0.00275
260000	147.44	1.379	0.68644	0.00338
240000	136.10	1.609	0.80093	0.00395
220000	124.76	1.783	0.88754	0.00437

Tabla 8.15. Deformaciones del cilindro número 3 con 6% de fibra.

CILINDRO (3) 6 % DE FIBRA				
Carga [N]	Esfuerzo [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura Dial Mm	Deformación mm	Deformación Unitaria
0	0.00	0	0.00000	0.00000
20000	11.47	0.034	0.01704	0.00008
40000	22.93	0.076	0.03809	0.00019
60000	34.40	0.1175	0.05889	0.00029
80000	45.87	0.1645	0.08244	0.00041
100000	57.34	0.214	0.10725	0.00053
120000	68.80	0.27	0.13531	0.00067
140000	80.27	0.3295	0.16513	0.00081
160000	91.74	0.412	0.20648	0.00102
180000	103.21	0.485	0.24306	0.00120
200000	114.67	0.6005	0.30094	0.00148
220000	126.14	0.733	0.36735	0.00181
240000	137.61	0.924	0.46307	0.00228
260000	149.08	1.256	0.62945	0.00310
264500	151.66	1.516	0.75975	0.00374
260000	149.08	1.663	0.83342	0.00411
240000	137.61	1.821	0.91260	0.00450
220000	126.14	1.942	0.97324	0.00479