



Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador

**FACULTAD DE INGENIERA**

**ESCUELA CIVIL**

**DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA: “CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE HORMIGONES REFORZADOS  
CON FIBRAS DE POLIPROPILENO EN FUNCIÓN DE LA ADICIÓN DE  
DIFERENTES PORCENTAJES DE FIBRA”**

**AUTORES:**

**SEBASTIÁN ALEJANDRO VEGA MORALES**

**CARLOS DANIEL MEDINA GRANJA**

**QUITO DM, DICIEMBRE DE 2022**

## **Tabla de contenido**

1	CAPÍTULO 1: GENERALIDADES .....	1
1.1	Justificación.....	1
1.2	Planteamiento del problema.....	1
1.3	Antecedentes .....	2
1.4	Objetivos .....	3
1.4.1	Objetivo general.....	3
1.4.2	Objetivos específicos.....	3
1.5	Alcance.....	4
1.6	Hipótesis.....	4
2	CAPITULO 2: MARCO TEORICO .....	5
2.1	Características propias del hormigón .....	5
2.1.1	Trabajabilidad.....	5
2.1.2	Compacidad.....	6
2.1.3	Permeabilidad.....	7
2.1.4	Peso unitario.....	9
2.1.5	Desgaste por abrasión.....	9
2.1.6	Módulo de elasticidad .....	10
2.2	Áridos .....	12
2.2.1	Propiedades de los áridos .....	14
2.3	Polipropileno .....	20
2.3.1	Definición de fibras.....	20
2.3.2	Proceso de fabricación .....	21
2.3.3	Tipos de fibras de polipropileno.....	22

2.3.4	Beneficios.....	25
2.3.5	Usos y aplicaciones.....	25
2.4	Cemento .....	27
2.4.1	Definición.....	27
2.4.2	Clasificación.....	27
2.4.3	Consistencia Normal del Cemento.....	28
2.4.4	Finura .....	29
2.4.5	Tiempo de Fraguado.....	29
2.4.6	Expansión.....	29
2.4.7	Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento.....	30
3	CAPÍTULO 3: ENSAYOS DE LABORATORIO AGREGADOS Y CEMENTOS.	31
3.1	Ensayos de Áridos.....	31
3.1.1	Granulometría (INEN 696).....	31
3.1.2	Material que pasa el Tamiz N°200 (NTE INEN 697).....	33
3.1.3	Gravedad Específica y Absorción de los Agregados (NTE INEN 856-857).....	33
3.1.4	Peso Unitario (NTE INEN 858).....	33
3.1.5	Contenido Orgánico (NTE INEN 855).....	34
3.1.6	Equivalente de Arena (AASHTO T 176).....	34
3.1.7	Abrasión del Agregado Grueso (NTE INEN 860).....	34
3.1.8	Terrones de Arcilla (NTE INEN 698).....	34
3.1.9	Contenido de humedad de los Agregados (INEN 862 1R).....	35
3.2	Ensayos para cementos.....	36
3.2.1	Consistencia Normal del Cemento (NTE INEN 157).....	36
3.2.2	Tiempo de Fraguado (NTE INEN 158).....	36
3.2.3	Finura Blaine (NTE INEN 196).....	36

3.2.4	Gravedad Específica (NTE INEN 156).....	37
3.2.5	Resistencia a la Compresión de Morteros (NTE INEN 488).....	37
4	CAPÍTULO 4: DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN .....	38
4.1	Dosificación del hormigón.....	38
4.1.1	Método de dosificación del (ACI 211).....	38
4.1.2	Dosificación para un hormigón de peso normal $f'c = 240\text{kg/cm}^2$ y $f'c = 280\text{kg/cm}^2$	42
4.1.3	Dosificación de la fibra de Polipropileno.....	43
4.2	Fabricación de muestras de hormigón.....	45
4.2.1	Ensayo a compresión del hormigón .....	45
4.2.2	Flexión de vigas .....	46
4.2.3	Ensayo brasilero .....	48
4.3	Ensayo a compresión de cilindros del hormigón .....	50
4.3.1	Compresión de cilindros con resistencia de $240\text{ Kg/cm}^2$ y $280\text{ Kg/cm}^2$ , sin polipropileno.	50
4.3.2	Compresión de cilindros con resistencia de $240\text{ Kg/cm}^2$ y $280\text{ Kg/cm}^2$ , con 0.20 % polipropileno adicionado.....	52
4.3.3	Compresión de cilindros con resistencia de $240\text{ Kg/cm}^2$ y $280\text{ Kg/cm}^2$ , con 0.30 % polipropileno adicionado.....	54
4.3.4	Compresión de cilindros con resistencia de $240\text{ Kg/cm}^2$ y $280\text{ Kg/cm}^2$ , con 0.50 % polipropileno adicionado.....	56
4.4	Ensayo de Flexión de vigas.....	58
4.4.1	Flexión en vigas con resistencia de $240\text{ Kg/cm}^2$ y $280\text{ Kg/cm}^2$ , sin polipropileno.	58
4.4.2	Flexión en vigas con resistencia de $240\text{ Kg/cm}^2$ y $280\text{ Kg/cm}^2$ , con 0.20 % polipropileno adicionado.....	60

4.4.3	Flexión en vigas con resistencia de 240 Kg/cm <sup>2</sup> y 280 Kg/cm <sup>2</sup> , con 0.30 % polipropileno adicionado. ....	62
4.4.4	Flexión en vigas con resistencia de 240 Kg/cm <sup>2</sup> y 280 Kg/cm <sup>2</sup> , con 0.50 % polipropileno adicionado. ....	64
4.5	Ensayo de tracción método brasilero .....	66
4.5.1	Cilindros con resistencia de 240 Kg/cm <sup>2</sup> y 280 Kg/cm <sup>2</sup> , sin polipropileno. ....	66
4.5.2	Cilindros con resistencia de 240 Kg/cm <sup>2</sup> y 280 Kg/cm <sup>2</sup> , con 0.20 % polipropileno adicionado. ....	68
4.5.3	Cilindros con resistencia de 240 Kg/cm <sup>2</sup> y 280 Kg/cm <sup>2</sup> , con 0.30 % polipropileno adicionado. ....	70
4.5.4	Cilindros con resistencia de 240 Kg/cm <sup>2</sup> y 280 Kg/cm <sup>2</sup> , con 0.50 % polipropileno adicionado. ....	72
4.6	Módulo de elasticidad .....	74
4.7	Resultado de los ensayos de laboratorio .....	76
4.7.1	Resumen de resultados, resistencia de cilindros a compresión.....	76
4.7.2	Resumen de resultados, ensayo de flexión de vigas.....	77
4.7.3	Resumen de resultados, ensayo tracción de cilindros. ....	80
4.7.4	Comparación esfuerzo de Tracción por Compresión - Tracción por Flexión.	
	83	
5	CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	84
5.1	Análisis de Resultados .....	84
5.1.1	Compresión .....	84
5.1.2	Flexión.....	85
5.1.3	Tracción.....	87
6	CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	90
6.1	Conclusiones generales .....	90

6.2	Recomendaciones generales.....	92
6.3	Bibliografía.....	94
6.4	Anexos.....	94

## **Índice de Ilustraciones**

Ilustración 2.1 Curva típica Esfuerzo-Deformación para hormigón (Obtenido de ASTM C-469)	11
Ilustración 2.2 Mina de Pifo (Obtenido de GOOGLE EARTH)	13
Ilustración 2.3 Tamaño de Tamices ASTM C-33 (Obtenido de ASTM)	16
Ilustración 2.4 Efecto de la resistencia a compresión y del tipo de agregado sobre la resistencia a abrasión del concreto (Obtenido de ASTM C 1138)	19
Ilustración 2.5 Estructura química del polipropileno (Obtenido de GOOGLE IMAGENES)	22
Ilustración 2.6 Tipos de fibra de polipropileno (Obtenido de psiconcreto.com)	23
Ilustración 2.7 Fibra de polipropileno multifilamento (Obtenido de GOOGLE IMAGENES)	23
Ilustración 2.8 Fibra de polipropileno fibrilada (Obtenido de GOOGLE IMAGENES)	24
Ilustración 2.9 Fibra de polipropileno de monofilamento (Obtenido de GOOGLE IMÁGENES)	24
Ilustración 4.1 Determinación del asentamiento (Obtenido de ACI 211)	38
Ilustración 4.2 Tipos de fallas al esfuerzo de compresión en muestras cilíndricas (Obtenido de GOOGLE IMAGENES)	46
Ilustración 4.3 Esquema de Flexión de vigas (Obtenido de INEN 2554)	47
Ilustración 4.4 Ensayo de tracción Brasileiro (Obtenido de GOOGLE IMAGENES)	49

## **Índice de Gráficas**

Gráfica 3.1 Curva Granulométrica Agregado Grueso. ....	31
Gráfica 3.2 Curva Granulométrica Agregado Fino.....	32
Gráfica 4.1 Resistencia a la compresión.....	76
Gráfica 4.2 Pérdida o Ganancia de Resistencia Promedio a la Compresión Según el Porcentaje de PPL.....	76
Gráfica 4.3 Pérdida o Ganancia de Resistencia Característica a la Compresión Según el Porcentaje de PPL.....	77
Gráfica 4.4 Esfuerzo de Tracción por Flexión.....	77
Gráfica 4.5 Pérdida o aumento de Esfuerzo de Tracción por Flexión Promedio Según el Porcentaje de PPL.....	78
Gráfica 4.6 Pérdida o aumento de Esfuerzo de Tracción por Flexión Característico Según el Porcentaje de PPL.....	78
Gráfica 4.7 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Flexión – Esfuerzo a Compresión $f'c=240\text{kg/cm}^2$ .....	79
Gráfica 4.8 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Flexión – Esfuerzo a Compresión $f'c=280\text{kg/cm}^2$ .....	79
Gráfica 4.9 Esfuerzo de Tracción por Compresión. ....	80
Gráfica 4.10 Pérdida o aumento de Esfuerzo de Tracción por Compresión Promedio Según el Porcentaje de PPL.....	80
Gráfica 4.11 Pérdida o aumento de Esfuerzo de Tracción por Compresión Característico Según el Porcentaje de PPL.....	81
Gráfica 4.12 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Compresión – Esfuerzo a Compresión $f'c=240\text{kg/cm}^2$ .....	81
Gráfica 4.13 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Compresión – Esfuerzo a Compresión $f'c=280\text{kg/cm}^2$ .....	82
Gráfica 4.14 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por flexión – Tracción por Compresión $f'c=240\text{kg/cm}^2$ .....	83
Gráfica 4.15 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por flexión – Tracción por Compresión $f'c=280\text{kg/cm}^2$ .....	83

## **Índice de Tablas**

Tabla 3.1 Granulometría del Agregado Grueso.....	31
Tabla 3.2 Granulometría del Agregado Fino.....	32
Tabla 3.3 Material Fino que pasa el Tamiz N° 200.....	33
Tabla 3.4 Gravedad Específica y Absorción Del Agregado Grueso.....	33
Tabla 3.5 Gravedad Específica y Absorción Del Agregado Fino.....	33
Tabla 3.6 Peso Unitario de los Agregados.....	33
Tabla 3.7 Contenido Orgánico.....	34
Tabla 3.8 Equivalente de Arena.....	34
Tabla 3.9 Abrasión del Agregado Grueso.....	34
Tabla 3.10 Terrones de Arcilla Agregado Grueso.....	34
Tabla 3.11 Terrones de Arcilla Agregado Fino.....	35
Tabla 3.12 Contenido de humedad del Agregado Grueso.....	35
Tabla 3.13 Contenido de humedad del Agregado Fino.....	35
Tabla 3.14 Consistencia Normal del Cemento.....	36
Tabla 3.15 Tiempo de Fraguado del Cemento.....	36
Tabla 3.16 Finura Blaine.....	36
Tabla 3.17 Gravedad Especifica del Cemento.....	37
Tabla 3.18 Resistencia a la Compresión de Morteros.....	37
Tabla 4.1 Concretos con Aire Incluido % contenido 8.0 a 3.5 (Obtenido de ACI 211).....	39
Tabla 4.2 Concretos con Aire Incluido % contenido 3.0 a 0.3 (Obtenido de ACI 211).....	40
Tabla 4.3 Dosificación F'c= 240 kg/cm <sup>2</sup> .....	43
Tabla 4.4 Dosificación F'c= 240 kg/cm <sup>2</sup> .....	43
Tabla 4.5 Cuadros de resumen de dosificaciones con Polipropileno.....	44

## **Índice de Ecuaciones**

Ecuación ( 2.1).....	6
Ecuación ( 2.2).....	11
Ecuación ( 2.3).....	12
Ecuación ( 4.1).....	40
Ecuación ( 4.2).....	40
Ecuación ( 4.3).....	40
Ecuación ( 4.4).....	41
Ecuación ( 4.5).....	41
Ecuación ( 4.6).....	41
Ecuación ( 4.7).....	41
Ecuación ( 4.8).....	42
Ecuación ( 4.9).....	44
Ecuación ( 4.10).....	44
Ecuación ( 4.11).....	44
Ecuación ( 4.12).....	45
Ecuación ( 4.13).....	47
Ecuación ( 4.14).....	48
Ecuación ( 4.15).....	49
Ecuación ( 4.16).....	74
Ecuación ( 4.17).....	74
Ecuación ( 4.18).....	75

## **Índice de Anexos**

Anexo 1 Fibras de Polipropileno .....	99
Anexo 2 Hormigón fresco con fibras de polipropileno .....	99
Anexo 3 Preparación ensayo de compresión .....	100
Anexo 4 Asentamiento Hormigón simple 240 Kg/cm <sup>2</sup> , PPL 0% .....	100
Anexo 5 Asentamiento Hormigón simple 240 Kg/cm <sup>2</sup> , PPL 0.2% .....	101
Anexo 6 Asentamiento Hormigón simple 240 Kg/cm <sup>2</sup> , PPL 0.3% .....	101
Anexo 7 Asentamiento Hormigón simple 240 Kg/cm <sup>2</sup> , PPL 0.5% .....	102
Anexo 8 Asentamiento Hormigón simple 280 Kg/cm <sup>2</sup> , PPL 0% .....	102
Anexo 9 Asentamiento Hormigón simple 280 Kg/cm <sup>2</sup> , PPL 0.2% .....	103
Anexo 10 Asentamiento Hormigón simple 280 Kg/cm <sup>2</sup> , PPL 0.3% .....	103
Anexo 11 Asentamiento Hormigón simple 280 Kg/cm <sup>2</sup> , PPL 0.5% .....	104
Anexo 12 Ensayo Brasileró, Hormigón simple 280 Kg/cm <sup>2</sup> , PPL 0% .....	105
Anexo 13 Ensayo Brasileró, Hormigón simple 280 Kg/cm <sup>2</sup> , PPL 0.2% .....	105
Anexo 14 Ensayo Brasileró, Hormigón simple 280 Kg/cm <sup>2</sup> , PPL 0.3% .....	106
Anexo 15 Ensayo Brasileró, Hormigón simple 280 Kg/cm <sup>2</sup> , PPL 0.5% .....	106
Anexo 16 Ensayo de flexión, Hormigón simple 280 Kg/cm <sup>2</sup> , PPL 0%.....	107
Anexo 17 Ensayo de flexión, Hormigón simple 280 Kg/cm <sup>2</sup> , PPL 0.3%.....	107
Anexo 18 Ensayo de flexión, Hormigón simple 280 Kg/cm <sup>2</sup> , PPL 0.5%.....	108

## **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES**

### **1.1 Justificación**

La presente investigación se enfocará en la realización del estudio del comportamiento del hormigón al incorporar en su dosificación las fibras de polipropileno, para de esta manera analizar los cambios en sus propiedades mecánicas y su comportamiento a distintos porcentajes de fibra adicionada.

La información que se origine durante este período será de importancia, porque permitirá conocer el porcentaje óptimo de fibra de polipropileno necesario para la elaboración de hormigón de distintas resistencias, de tal manera que no altere su calidad y función. De todo lo expuesto, se considera importante realizar esta investigación para que la información generada aporte con la utilización de fibras de polipropileno como refuerzo en el hormigón utilizando un agregado propio de nuestra ciudad y provincia, debido a la poca o nula información que en la actualidad existe en nuestro país acerca de este material compuesto.

### **1.2 Planteamiento del problema**

Dentro del amplio mercado de la construcción en el Ecuador y con la gran variedad de aditivos y/o refuerzos para mejorar las propiedades físicas, mecánicas del hormigón surge la problemática de conocer si existe un elemento alternativo a los utilizados comúnmente en la construcción que sea fiable, de fácil acceso y que cumpla con la norma ecuatoriana de la construcción (NEC) en todos sus ámbitos de construcción y de calidad.

En base a esta problemática que se nos presenta a nosotros como estudiantes de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, decidimos analizar fibra de polipropileno como

refuerzo en el hormigón y contrastar los resultados obtenidos con el hormigón simple, para de esta manera analizar sus resultados, verificando cómo influyen las fibras de polipropileno en las propiedades mecánicas del hormigón y si estas se ven afectadas de manera positiva o negativa al adicionar las fibras de polipropileno. Además, se desea analizar la influencia del porcentaje de fibra de polipropileno adicionado al hormigón para de esta manera conocer su comportamiento y lograr obtener un porcentaje de fibra polipropileno necesario para conseguir una dosificación óptima, al momento de elaborar hormigón.

Debido al creciente desarrollo tecnológico a nivel nacional se ha podido dar mejores propiedades y mayores resistencias al hormigón, lo cual hace que estos nuevos métodos cada vez sean más usados en construcción. De la misma manera debido a la incorporación en el mercado de nuevos y mejores aditivos se ha hecho posible de que el hormigón sea cada vez más resistente ante las solicitudes requeridas.

Es importante conocer las propiedades técnicas de las fibras de polipropileno utilizadas como refuerzo para la fabricación de hormigones de diferentes resistencias en la industria de la construcción, ya que incide directamente en las propiedades mecánicas y por ello es fundamental conocer la cantidad de fibras añadidas que permite, obtener un hormigón de buena calidad que sea óptimo para su uso en la construcción.

### **1.3 Antecedentes**

(Medina & Cifuentes, 2007) En su estudio sobre “La influencia que las propiedades mecánicas de las fibras de polipropileno tienen en la fragilidad y efecto tamaño de los hormigones reforzados con las misma”. Determinaron que se produce un aumento de la energía de fractura

debido al ablandamiento del hormigón lo cual significa un aumento en su ductilidad y con un menor efecto tamaño, este estudio fue realizado con suministros de la empresa GEOTEXAN.

(YÁÑEZ, 2017) En su memoria para optar al título de Ingeniera Civil sobre la “EVALUACIÓN DE PARÁMETROS INCIDENTES EN LA RESPUESTA POST AGRIETAMIENTO DEL HORMIGÓN PROYECTADO REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO”. Determino que “Para cumplir con la funcionalidad estructural de hormigones fibroreforzados, es necesario que en el diseño se consideren altas dosis de fibra de polipropileno, en los resultados se obtuvo que una dosis de 8 [kg/m<sup>3</sup>] de fibra de polipropileno entrega funcionalidad estructural al hormigón, y que cantidades más pequeñas de 6 [kg/m<sup>3</sup>] son aptas en grados de resistencia del orden de G30 y G40, mientras que en mezclas con mayores resistencias la funcionalidad depende del criterio con el que se analice, lo mismo sucede para hormigones G20”.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Este trabajo tiene como objetivo hacer un estudio del comportamiento del hormigón con fibras de polipropileno y estudiar la influencia de la adición de fibra en diferentes porcentajes, para de esta manera averiguar cómo mejoran o no las propiedades mecánicas del hormigón.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Analizar propiedades mecánicas del hormigón reforzado con fibras de polipropileno para las construcciones civiles.

- Determinar cómo varían las propiedades mecánicas del hormigón al adicionar distintos porcentajes de fibra de polipropileno.
- Proponer porcentajes de fibra de polipropileno adecuados para la elaboración de hormigón con resistencias de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup>, de acuerdo con las propiedades de la mina escogida

### **1.5 Alcance**

La presente investigación tiene como finalidad la determinación de las propiedades mecánicas del hormigón a distintos porcentajes de fibra de polipropileno adicionado, utilizando como referencia las normas INEN, y ASTM para el uso de fibras. Se realizarán ensayos para determinar las propiedades mecánicas del hormigón conforme a las dosificaciones de 240 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup> con y sin fibra de polipropileno, a fin de realizar la comparación de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y resistencia a la flexión.

### **1.6 Hipótesis**

Las fibras de polipropileno como refuerzo en el hormigón mejoran sus propiedades mecánicas a distintos porcentajes de fibra adicionados.

## **CAPITULO 2: MARCO TEORICO**

### **2.1 Características propias del hormigón**

El hormigón se diseña con el objetivo de obtener una mezcla de determinadas propiedades tanto mecánicas como físicas en un estado fresco o endurecido y que el costo de su fabricación sea lo menor posible.

El Hormigón que se encuentra en estado fresco es un material heterogéneo ya que por su naturaleza presentan distintas propiedades en las diferentes instancias, puesto que en su sistema existen simultáneamente tres fases: la líquida, sólida y gaseosa.

Las propiedades del hormigón están ligadas a las propiedades de los agregados utilizados, el cemento y el agua a que se utilizara. Por lo cual las elecciones de estos materiales deben cumplir con unos requisitos básicos para la obtención de un hormigón de calidad, los cuales son:

#### **2.1.1 Trabajabilidad**

La trabajabilidad también conocida como manejabilidad, es una propiedad del hormigón recién mezclado que determina qué tan fácil y uniformemente se puede mezclar, colocar y fraguar “según lo definido por la norma ACI 116R-90”.

A su vez la norma ASTM define la trabajabilidad como “la propiedad que determina el esfuerzo necesario para manipular una cantidad recién mezclada de hormigón con una pérdida mínima de homogeneidad en sus propiedades”.

Esta propiedad es importante porque una trabajabilidad deficiente puede conducir a problemas de mezcla y problemas de uniformidad, lo que a su vez significa una resistencia reducida.

La trabajabilidad depende de muchos factores los cuales afectan de manera directa la manejabilidad que se tiene sobre una mezcla de hormigón. La relación A/C es uno de ellos ya que esta tiene un gran efecto en la trabajabilidad del hormigón. La relación A/C es directamente proporcional a la trabajabilidad, ya que un aumento en la en esta relación conllevara al aumento en la capacidad de trabajo del hormigón.

### **2.1.2 Compacidad**

La compacidad del hormigón está relacionada con la capacidad de acomodamiento de los áridos que comprenden la mezcla del hormigón. Existe una relación directa entre la compacidad del hormigón y su resistencia mecánica. La compacidad es la relación entre el volumen real de los del hormigón y el volumen aparente del hormigón.

$$C = \frac{Vr}{Va} \qquad \text{Ecuación (2.1)}$$

Es evidente una relación directa que existe entre la compacidad del hormigón y su resistencia mecánica, ya que dicha compacidad aumenta con el volumen del material sólido que forma el hormigón, en comparación con el volumen que ocupa el agua y el aire en el hormigón. Una buena compacidad no sólo proporciona una mayor resistencia mecánica (frente a esfuerzos, impactos, abrasiones, vibraciones, etc.), sino también una mayor resistencia física y química frente a acciones externas, al contener un número mínimo de agujeros vías de entrada de agentes externos también son mínimas.

La compactación depende del método de consolidación utilizado, ya sea manual o vibración mecánica. Con la dosificación y la compactación adecuadas, la compacidad alcanza el 97% - 98%. La compacidad normalmente gira en torno al 90%.

La compacidad está muy ligada al peso específico. Además, incide directamente en:

- la resistencia.
- La durabilidad.
- La impermeabilidad.

### **2.1.3 Permeabilidad**

Podría entenderse por permeabilidad, de forma genérica, el grado de dificultad que ofrece el hormigón a que los fluidos penetren en su interior. Esta dificultad está ligada a su compacidad, entendiéndose por tal la fracción de volumen hueco del hormigón. (ALEGRE, 1984)

A su vez, estos huecos pueden ser accesibles (si están comunicados entre sí y con el exterior), o inaccesibles. Son los huecos accesibles los que condicionan la penetración de fluidos en el hormigón. Los conductos capilares que los unen son los caminos para esta penetración. El diámetro de estos capilares condiciona el fenómeno de la capilaridad del hormigón. (ALEGRE, 1984)

El agua puede penetrar el concreto de dos maneras: por capilaridad y por presión. Los factores que afectan la permeabilidad son la trabajabilidad, la relación A/C la cual afecta en la resistencia. El más influyente es probablemente el último, ya que a medida que disminuye, también lo hace la permeabilidad.

La permeabilidad del concreto es una propiedad inherente que siempre se encuentra ligada a diversos factores:

- **Relación Agua/Cemento:** Cuando la relación a/c es alta y el grado de hidratación es bajo, la pasta de cemento tendrá una alta porosidad capilar, conteniendo un gran número de poros grandes bien conectados, y por lo tanto un alto coeficiente de permeabilidad. (Alaya, 2020)
- **Curado de las Estructuras de Concreto:** El curado es un proceso extremadamente importante, recordando que el curado es importante para ayudar en la hidratación del cemento, la hidratación correcta reduce el tamaño de los vacíos. Por ello, es importante que el proceso de curado sea continuo, no sólo para evitar las fisuras propias del secado, sino también para evitar la evaporación prematura del agua por exudación, evitando así la formación de una red capilar que permita la difusión del agua a través la estructura de hormigón. (Alaya, 2020)
- **Tipo de cemento:** En el mercado ecuatoriano existe una alta oferta de cemento y una alta variedad del mismo, la elección del cemento depende de las características de exposición de la estructura, tipo de estructura y tipo de vaciado, entre otras. Pero está demostrado que los cementos adicionados influyen directamente con el proceso de permeabilidad, esto debido a sus procesos de hidratación posteriores a los 28 días lo que ayuda a disminuir la red capilar. Dentro de los cementos adicionados que influyen directamente con la reducción de la permeabilidad del concreto, tenemos a las adiciones como ceniza volante, escoria molida y puzolana natural. (Alaya, 2020)
- **Relación Agregado Fino /Agregado Grueso:** Es importante mencionar que la permeabilidad está ligada directamente a la porosidad y la interconexión de estos, si nuestro concreto tiene volumen con menos poros nuestro concreto será menos permeable. Por tal

motivo es importante la adecuada gradación entre agregados debido a que esto nos permitirá tener menos espacios vacíos. (Alaya, 2020)

#### **2.1.4 Peso unitario**

El peso unitario del hormigón es la relación de la masa de una muestra sobre el volumen que ocupa. El hormigón, comúnmente utilizado en aceras, edificios y otras estructuras, tiene unidades de peso desde (2240 a 2400) kg/m<sup>3</sup>. Las variaciones en la unidad de masa afectan la consistencia, lo que indica variaciones en la cantidad y densidad relativa de los agregados, la cantidad de aire atrapado o introducido intencionalmente, y la composición del agua y del cemento, estos se verán afectados por el tamaño máximo del agregado, por lo que debe dar lugar a las correcciones oportunas.

La densidad del concreto varía con la cantidad y densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado, y la cantidad de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo de agregado afecta la cantidad de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la densidad. (H, 2011)

El peso del hormigón seco es igual al peso de la composición de hormigón fresco menos el peso del agua de amasado evaporada. Parte del agua en la mezcla se combina químicamente con el cemento durante la hidratación, convirtiendo el cemento en un gel de cemento. (H, 2011)

#### **2.1.5 Desgaste por abrasión**

La abrasión es una acción mecánica importante que afecta a los elementos de hormigón que soportan tráfico pesado o conducen fluidos. Los factores que más influyen en la resistencia al desgaste de este material son la proporción de la mezcla, la resistencia de los áridos, el acabado y

la dureza. En muchas partes del mundo se utiliza piedra caliza, que suele ser más porosa que la roca ígnea.

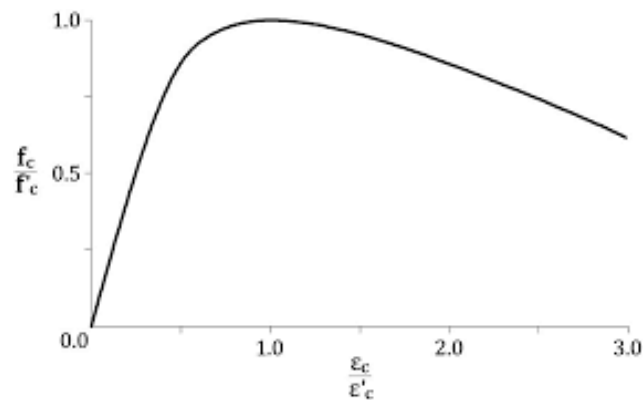
El hormigón, que es el material constituido de varios materiales, que a su vez se unen entre sí mediante aglomerantes, tiende a volver a su forma original, por lo que, si el hormigón se somete al impacto de agentes externos, puede provocar el agrietamiento y la abrasión. El hormigón está sujeto a un desgaste constante, ya sea por influencias ambientales (viento, agua, suelo), con el paso del tiempo (procesos abrasivos) o de otra manera, lo que hace que pierda gradualmente sus propiedades e incluso puede provocar el colapso de ciertas estructuras.

La variación de temperatura es un factor importante tanto en el fraguado del hormigón, como en su vida útil puede sufrir una elevación o descenso de temperatura. Estas variaciones de temperatura pueden provocar que el elemento se contraiga o se dilate, la cual puede provocar micro grietas que dejan el paso de agentes ambientales hacia el acero de refuerzo, provocando la corrosión de este, de la misma manera al disminuir la temperatura puede provocar que el elemento se aglomere, lo cual provoca una mayor fragilidad en la misma, estas se reflejan en sus propiedades mecánicas como es la resistencia a la fluencia, al flujo plástico y resistencia final, en ocasiones, las irregularidades en su comportamiento le ocasionan los cambios estructurales. (GUAYASAMIN & ZAPATA MERA, 2014)

### **2.1.6 Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad del hormigón es un parámetro utilizado para calcular y controlar los desplazamientos y deformaciones en estructuras de hormigón armado. El valor del módulo de elasticidad depende en gran medida del módulo de elasticidad de los agregados con que se fabricó el hormigón. El código ACI estipula que, para calcular el módulo elástico del hormigón, se debe usar como dato la resistencia a la compresión del concreto.

Cuando la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria a que está sometido el material es lineal, constante y los esfuerzos aplicados no alcanzan el límite de proporcionalidad, el material tiene un comportamiento elástico que cumple con la Ley de Hooke. El concreto no es un material eminentemente dúctil, esto se puede observar fácilmente si se somete a un espécimen a esfuerzos de compresión crecientes hasta llevarlo a la falla, si para cada nivel de esfuerzo se registra la deformación unitaria del material, se podría dibujar la curva que relaciona estos parámetros. (GUAYASAMIN & ZAPATA MERA, 2014)



*Ilustración 2.1 Curva típica Esfuerzo-Deformación para hormigón (Obtenido de ASTM C-469)*

En general, los módulos de elasticidad se determinan a partir de pruebas a la compresión de cilindros de hormigón. Una ecuación de amplio uso para calcular el módulo de elasticidad, dado en el ACI 318M-02, relaciona el módulo de elasticidad con la resistencia a la compresión,  $f'_c$  [kg/cm<sup>2</sup>], y el peso unitario del hormigón,  $w_c$  [kg/m<sup>3</sup>]. Esta ecuación es satisfactoria para valores de  $w_c$  entre 1500 y 2500 kg/m<sup>3</sup>.

$$E_c = w_c^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación (2.2)}$$

Para hormigón de peso normal el módulo de elasticidad  $E_c$  se puede considerar como:

$$E_c = 15100 * \sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación (2.3)}$$

Donde:

$E_c$  = módulo de elasticidad del concreto en  $\text{kgf/cm}^2$

$W_c$  = densidad del concreto,  $\text{kg/m}^3$

$f'_c$  = resistencia especificada a la compresión del concreto  $\text{kgf/cm}^2$

## 2.2 Áridos

Los áridos o agregados son materiales granulares inertes hechos de fragmentos de roca o arena utilizados en ingeniería civil y en muchas aplicaciones industriales. Coloquialmente conocido como arena, grava, piedra triturada, etc.

El agregado es una materia prima indispensable para la sociedad y en especial en la construcción. En general, son materiales baratos y abundantes. Dependiendo de su uso previsto, los agregados pueden tener varias propiedades relacionadas con el proceso utilizado para la fabricación. Entre ellos, se destacan los siguientes puntos:

- **Propiedades geométricas:** tamaño, forma de las partículas, caras de fractura, calidad de los finos, etc.
- **Propiedades mecánicas y físicas:** resistencia al desgaste, resistencia a la fragmentación, resistencia al pulimento, densidad, porosidad, contenido en agua, etc.
- **Propiedades térmicas y de alteración:** resistencia a los ciclos de hielo y deshielo, etc.
- **Propiedades químicas:** contenido en azufre, cloruros, materia orgánica, contaminantes ligeros, reactividad potencial, etc.

Los agregados utilizados tanto grueso como fino en la presente investigación provienen de la Cantera de Pifo y su tamaño máximo nominal es de 1 pulgada o 25 mm.



*Ilustración 2.2 Mina de Pifo (Obtenido de GOOGLE EARTH)*

Las características de los agregados tienen un efecto significativo en el comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido. Las principales características de los agregados que afectan las propiedades del concreto son forma y textura, gradación, absorción, mineralogía, resistencia y módulo de elasticidad, tamaño máximo, gravedad específica, resistencia al ataque de sulfatos y dureza. En la medida en que se determine la influencia de cada una de estas propiedades en el comportamiento del concreto, será posible realizar diseños de mezclas más económicos. ( León & Ramirez, 2010)

Para lograr una mezcla de concreto óptima se requieren entre otras condiciones que la compacidad de la mezcla de agregados sea la máxima posible con una trabajabilidad adecuada de forma que se minimice la cantidad de pasta de cemento requerida para la pega de los agregados. Igualmente se requiere que sus componentes satisfagan características que permitan que la mezcla

de concreto sea durable y cumpla con los requisitos de trabajabilidad y resistencia establecidos durante el diseño. La estimación de la compacidad de una mezcla granular es un problema fundamental para el manejo y conocimiento del concreto, y depende de 3 parámetros fundamentales: tamaño y distribución de los granos, forma de los granos (morfología y textura) y método de compactación de la mezcla de concreto. ( León & Ramirez, 2010)

### **2.2.1 Propiedades de los áridos**

(VILLARREAL GARCÍA & TORO TIPÁN, 2019), señalan en su tesis que el cemento, agua, agregado fino y grueso son características que determinan los esfuerzos que soporta el hormigón dadas sus propiedades físicas, entre los más importantes podemos encontrar: forma, mineralogía, resistencia, textura, la porosidad, la absorción, la densidad, la adherencia, granulometría, abrasión, durabilidad, entre otras. Las características mencionadas con anterioridad inciden directamente sobre el comportamiento del hormigón en estado fresco y endurecido, por ende, presenta una repercusión directa en la resistencia del hormigón.

#### **2.2.1.1 Absorción**

La absorción es la capacidad de los agregados para absorber agua, lo que permite que los agregados pasen de condiciones superficiales secas a secas saturadas cuando los poros internos están saturados con agua. (Chan Yam, Moreno, & Solís Carcaño, 2003)

(Chan Yam, Moreno, & Solís Carcaño, 2003), agrega que la absorción es la propiedad del agregado que más afecta la consistencia del concreto, ya que afecta el manejo de la muestra. Si dos agregados muestran una absorción similar, esto está determinado por los mismos factores secundarios que determinan la consistencia de la mezcla. La buena trabajabilidad del concreto se logra combinando agregados con bajo índice de absorción y factor de forma moderado, creando una apariencia redondeada de granos.

### **2.2.1.2 Granulometría**

La granulometría es la distribución de los diferentes tamaños de las partículas que conforman los áridos, se lo conoce también como la operación de separar una muestra de agregado en fracciones (Neville, 2013).

El estudio de la distribución generalmente se realiza mediante la curva granulométrica que se obtiene pasando el material por distintos filtros o tamices normalizados según el tipo de agregado. La curva granulometría nos permite observar si nuestro material se ajusta a alguna especificación, si hay gran porcentaje de agregados gruesos o finos, o deficiente en un tamaño particular (Neville, 2013).

Este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la graduación del árido fino. Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas con los requisitos de las especificaciones aplicables y proporcionar la información necesaria para el control de la producción de diversos productos que contengan áridos. (FERNANDA, 2013)

(GUAYASAMIN & ZAPATA MERA, 2014), definen que en hormigones estructurales convencionales los agregados (arena, grava, roca triturada o escoria) ocupan aproximadamente las tres cuartas partes es decir alrededor del 70% a 80% del volumen total de la masa endurecida.

La granulometría del agregado fino debe cumplir con los límites de la norma (ASTM C-33), generalmente es satisfactoria para la mayoría de los concretos. (International, ASTM, 2014)

Los límites establecidos por la norma con respecto al tamaño de las partículas se indican a continuación:

Tamaño de malla	Porcentaje que pasa en peso
9.52 mm (3/8")	100
4.75 mm (No.4)	95 a 100
2.36 mm (No.8)	80 a 100
1.18 mm (No.16)	50 a 85
0.60 mm (No.30)	25 a 60
0.30 mm (No.50)	10 a 30
0.15 mm (No.100)	2 a 10

*Ilustración 2.3 Tamaño de Tamices ASTM C-33 (Obtenido de ASTM)*

Según (BOWLES, 1981), los tipos de granulometría son los siguientes:

- **Bien Graduada:** Se obtiene cuando el agregado presenta una distribución uniforme de mayor a menor. Su gráfico es una línea continua.
- **Mal Graduada:** No hay una continuidad entre el porcentaje de cada tamiz, es decir, la curva graficada presentará desviaciones.
- **Uniforme:** Se presenta cuando el agregado tiene partículas del mismo tamaño.
- **Abierta o Discontinua:** Se produce cuando en ciertos tamices no se ha retenido material, la curva es discontinua, presenta interrupciones.

### 2.2.1.3 Material que pasa el Tamiz #200

Los materiales más finos que  $75\ \mu\text{m}$  y pasan el tamiz #200 generalmente están compuestos de limo y arcilla en agregados naturales obtenidos de la descomposición del material. Están presentes como polvo y pueden formar una capa sobre las partículas de agregado grueso, lo que afecta la adhesión entre el agregado y la pasta de cemento. Además, si este material se encuentra en exceso, puede aumentar significativamente los requerimientos de agua y reducir la resistencia del hormigón, comúnmente sucede esto último cuando el agregado fino se encuentra con residuos de polvo de piedra.

#### 2.2.1.4 Módulo de Finura

El módulo de finura (MF) del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C-125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas. El módulo de finura es un índice de la finura del agregado fino, entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado. (FERNANDA, 2013)

(BOWLES, 1981), considera que el módulo de finura de una arena adecuada para producir hormigón debe estar entre 2,3 y 3,1 donde un valor menor que 2,0 indica una arena fina; 2,5 una arena de finura media y más de 3,0 una arena gruesa.

#### 2.2.1.5 Densidad y Gravedad Específica

La densidad es la relación que se obtiene entre el peso de una masa determinada y su volumen, en los agregados para el hormigón normalmente encontramos entre sus partículas poros y estos tienden a estar llenos de aire o de agua o parcialmente saturados, debido a esto se debe determinar la densidad de los áridos de una manera muy cuidadosa.

En los áridos usados para las mezclas de hormigón encontramos diferentes tipos de densidades siendo estas:

- **Densidad Absoluta:** Se la conoce como la relación entre el peso del material y el volumen ocupado por la masa sólida es decir se excluyen todos los poros saturables y no saturables.
- **Densidad Nominal:** Es la relación entre el peso y el volumen incluyendo los poros no saturables.
- **Densidad Aparente:** Es la relación entre el peso y el volumen incluyendo los poros no saturables y los poros saturables.

- Si la masa del agregado se determina con material seco tendríamos densidad aparente seca, pero si la masa del agregado se determina con material saturado u superficialmente seco (SSS), tendríamos densidad aparente saturada.

La densidad aparente es la densidad que mayor relevancia tiene ya que esta es la utilizada para los cálculos de la dosificación ya que se parte de que primero se satura el material al realizar la mezcla.

- **Densidad Relativa (Gravedad específica) (SH):** Relación entre la densidad SH de los áridos y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.
- **Densidad Relativa (Gravedad específica) (SSS):** Relación entre la densidad SSS de los áridos y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

(Galeano, 2019)

#### **2.2.1.6 Porosidad**

La porosidad en los agregados cumple un rol importante ya que el transporte del agua a través del hormigón viene siendo determinado por el tipo, tamaño y distribución de los poros o fisuras ya que este factor determina la permeabilidad del hormigón y a su vez también va de la mano con su durabilidad. (Robas)

#### **2.2.1.7 Peso Unitario Volumétrico**

La ASTM define al peso unitario de los agregados como la masa de un volumen unitario agregado, en el cual el volumen incluye el volumen de las partículas y el volumen de vacíos entre las partículas, en los agregados contamos con 2 pesos unitarios los cuales son suelto y compactado tanto para agregado grueso como para agregado fino. (CAÑAS, 2003)

### 2.2.1.8 Abrasión

La abrasión es una de las propiedades mas importantes en los agregados gruesos ya que con esto se conoce la durabilidad y la resistencia que tendrá el hormigón fabricado especialmente en elementos que están sujetos a roce, frotamiento y fricción, este fenómeno puede ocurrir por diferentes condiciones de servicio tales como: el tránsito de peatones y vehículos sobre las veredas y losas, el efecto del viento cargado de partículas sólidas y el desgaste producido por el flujo continuo de agua. (Rocha, 2022) & (Montenegro, 2019)

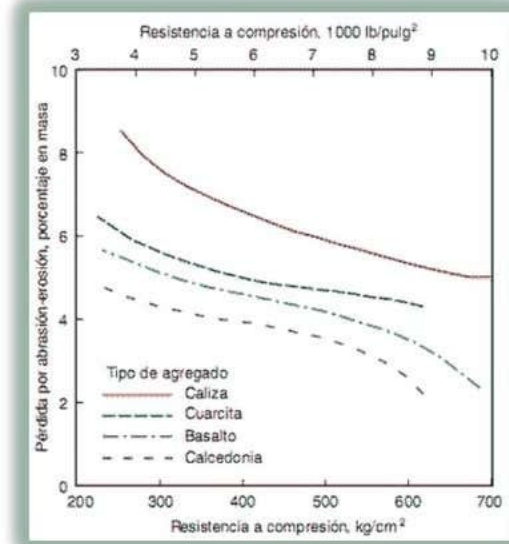


Ilustración 2.4 Efecto de la resistencia a compresión y del tipo de agregado sobre la resistencia a abrasión del concreto (Obtenido de ASTM C 1138)

### 2.2.1.9 Durabilidad al Desgaste de Sulfatos

El desgaste a los sulfatos de los agregados es una propiedad muy importante a analizar ya que con esto podemos determinar el comportamiento y la durabilidad del material empleado al encontrarse en condiciones adversas de clima o uso los cuales pueden generar desgaste por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio.

### **2.2.1.10 Contenido Orgánico**

El contenido orgánico mayormente se lo encuentra mayormente en el agregado fino siendo este conformado por tejidos animales y vegetales los cuales están formado por carbono, nitrógeno y agua, Si llegáramos a tener alta presencia de contenido orgánico este llega a ser muy perjudicial para el hormigón ya que se vera afectada la resistencia, durabilidad y el proceso de fraguado, esto debido a que las impurezas en el agregado afectan las reacciones químicas de hidratación del cemento durante el fraguado lo que ocasiona el deterioro de sus propiedades mecánicas y físicas. (Rocha, 2022)

## **2.3 Polipropileno**

El polipropileno, también conocido por sus siglas PP, es uno de los plásticos más utilizados junto con el tereftalato de polietileno. Sus aplicaciones incluyen textiles, embalajes, dispositivos médicos, equipos de laboratorio o componentes de automoción. El polipropileno, como su nombre indica, se obtiene por polimerización del propileno, un material de la clase termoplástica. Este material fue sintetizado por primera vez en 1951 por J. Paul Hogan y Robert Banks, y en 1957 comenzó a utilizarse con fines comerciales. Hoy es el segundo plástico más popular. (ENVASELIA Central de Envases SL, 2018)

### **2.3.1 Definición de fibras**

A lo largo de la historia, se han utilizado muchas fibras diferentes hechas de materiales como acero, plástico, vidrio y materiales naturales en varias formas y tamaños. Las fibras no son más que fibras cortas o esféricas distribuidas aleatoriamente en la mezcla de concreto, las fibras

son plásticos de menor peso específico, por lo que se requiere menor cantidad para obtener el producto.

La norma ASTM C - 1116 define las fibras como: “Filamentos finos y alargados en forma de haz, malla o trenza, de algún material natural o manufacturado que pueda ser distribuido a través de una mezcla de hormigón fresco.”

Como lo define (GUAYASAMIN & ZAPATA MERA, 2014) “Las fibras en el hormigón han sido usadas como material de construcción desde hace varios siglos, y la función de esta en el hormigón era mejorar las propiedades en las que el hormigón es relativamente débil, ya que el hormigón es un material sumamente resistente a la compresión, pero extremadamente frágil y débil a solicitaciones de tracción. Así de una u otra manera se ha intentado disminuir la fragilidad y hacerlo más resistente a la tracción”.

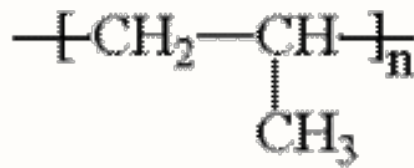
Un parámetro interesante que describe una fibra se define como la relación entre la longitud y el diámetro equivalente de la fibra. el diámetro equivalente de la fibra es el diámetro de un círculo con la misma área que el de la sección de fibra. los valores típicos de este parámetro son de 30 a 150, para longitudes de fibra entre 0,10 y 7,50 cm. (FERNANDA, 2013)

### **2.3.2 Proceso de fabricación**

El polipropileno es un termoplástico obtenido de la polimerización del propileno, un producto gaseoso de la refinación del petróleo. Sus características se centran en la flexibilidad y facilidad de manejo, y también actúa como barrera contra la humedad. Posee propiedades químicas, resistencia y transparencia útiles en industrias como la textil, automotriz, médica, de empaques y otras.

Se utiliza principalmente en productos plásticos como envases de alimentos y fibras de construcción, así como en cosméticos, menaje de cocina, envases, artículos para el hogar y cuidado de la salud etc.

Estructuralmente es un polímero vinílico, similar al polietileno, sólo que uno de los carbonos de la unidad monomérica tiene unido un grupo metilo.



*Ilustración 2.5 Estructura química del polipropileno (Obtenido de GOOGLE IMAGENES)*

El polipropileno fabricado de manera industrial es un polímero lineal, cuya espina dorsal es una cadena de hidrocarburos saturados. Cada dos átomos de carbono de esta cadena principal, se encuentra ramificado un grupo metilo (CH<sub>3</sub>). (Mariano, 2011)

### **2.3.3 Tipos de fibras de polipropileno**

Las fibras de polipropileno se pueden dividir en micro sintéticas y macro sintéticas. Micro se utiliza en el rango de 0,05 a 0,2% por volumen y macro en el rango de 0,2 a 1%. Los valores a veces varían con la dosis y el uso. (PSI CONCRETO, 2020)

Esta fibra también puede catalogarse en fibrilada, monofilamento ondulado y multifilamento liso, según la presentación. El primero es el resultado de un proceso de extrusión, en el que se tejen láminas de lámina en dirección longitudinal. (PSI CONCRETO, 2020)



*Ilustración 2.6 Tipos de fibra de polipropileno (Obtenido de psiconcreto.com)*

### **2.3.3.1 Fibra de polipropileno multifilamento**

El polipropileno es un polímero de hidrocarburo sintético, cuyas fibras se forman de la unión de monofilamentos obtenidos a través de procesos de extrusión por medio de estiramiento en caliente del material a través de un troquel de sección circular. Conocidas también como microfibras, ya que su diámetro es menor a 0,50 mm, está conformada por un conjunto de filamentos de polipropileno y su principal característica es que son anticorrosivas, antimagnéticas y 100 % resistentes a prueba de álcalis. (FERNANDA, 2013)



*Ilustración 2.7 Fibra de polipropileno multifilamento (Obtenido de GOOGLE IMAGENES)*

### 2.3.3.2 Fibra de polipropileno fibrilada

Fibras de polipropileno fibriladas son el producto de un proceso de extrusión en el que la matriz es rectangular, dando como resultado fibras en forma cintas de igual ancho, las que posteriormente son cortadas según la longitud requerida. (ACI Anstitute, 2002)



*Ilustración 2.8 Fibra de polipropileno fibrilada (Obtenido de GOOGLE IMAGENES)*

### 2.3.3.3 Fibra de polipropileno de monofilamento

El monofilamento se da con el mismo proceso de extrusión, pero el material es trazado en calor con un disco circular, generando filamentos continuos, pero separados. (PSI CONCRETO, 2020)



*Ilustración 2.9 Fibra de polipropileno de monofilamento (Obtenido de GOOGLE IMÁGENES)*

### **2.3.4 Beneficios**

Las fibras otorgan grandes beneficios de los cuales podemos citar los más importantes: reduce la fisuración, incrementa la fuerza mecánica, proporciona características eléctricas, incombustibilidad, estabilidad dimensional, compatibilidad con matrices orgánicas, baja conductividad térmica, y alta resistencia a agentes químicos. (International, ASTM, 2015)

(FERNANDA, 2013) define que para el uso efectivo de fibras en el concreto se deben tener contempladas las siguientes características:

- Las fibras deben ser significativamente más rígidas que la matriz, es decir, un módulo de elasticidad más alto.
- Debe existir una buena adherencia entre la fibra y la matriz, la longitud de las fibras debe ser suficiente.
- Las fibras deben tener una alta relación de aspecto; es decir, deben ser largas con relación a su diámetro.

### **2.3.5 Usos y aplicaciones**

Las aplicaciones de esta fibra se enfocan en superficies industriales, túneles, carreteras, refuerzo secundario de pisos industriales, hormigón proyectado, estacionamientos, casas prefabricadas y morteros especiales.

La fibra de polipropileno actúa como refuerzo secundario del hormigón, cuando se mezcla con el hormigón evita microfisuras tridimensionales en el elemento colado. Esto reduce el agrietamiento por contracción en la resina en estado fresco y la temperatura en estado duro.

(TEX DELTA, 2020) define que el polipropileno se utiliza como material de refuerzo debido a las siguientes razones:

- Mejora la ductilidad.
- Mayor energía de rotura a la flexión y menor retracción del material.
- Solución sostenible, ya que reduce la huella de carbono del 50% al 70%.
- Es inoxidable, no magnética y resistente a los álcalis.
- Blindado al elemento de la aparición de deformaciones y fisuras.
- Otorga resistencia al impacto y da mayor duración al elemento.
- Protege al concreto en temperaturas elevadas.

#### **2.3.5.1 Principales Aplicaciones del hormigón reforzado con fibra de polipropileno.**

Según (Pina & Sémelas, 2018), en un futuro próximo, el uso de hormigón reforzado con fibra y hormigón mixto (refuerzo de fibra más armado convencional) será común para la mayoría de las aplicaciones, pero las aplicaciones más utilizadas en la actualidad para hormigones con fibras son:

- Hormigón/mortero diseñado tanto en apoyo de obras subterráneas (túneles, cuevas, minería) como en estabilización de taludes y vertientes de agua.
- Piezas prefabricadas como paneles de revestimiento y paredes, piezas de construcción complejas como bancos y escaleras.
- Losas: El hormigón de fibra se utiliza cada vez más como un sistema adecuado para redistribuir tensiones en capas de compresión de losas. Del mismo modo, sistemas innovadores del tipo de los suelos comunes con encofrado de chapa, donde abren la posibilidad de eliminar la malla de contracción y temperatura de las capas de hormigón con hormigón fibro-reforzado.

- Se lo puede utilizar en todo tipo de hormigón expuesto a ambientes agresivos, como cerca del mar.

(Pina & Sémelas, 2018)

## 2.4 Cemento

### 2.4.1 Definición

El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, un material inorgánico finamente molido que amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua. (IECA, 2017)

### 2.4.2 Clasificación

La clasificación de los cementos ha ido variando a lo largo del tiempo en la cual se visto 3 generaciones de cementos en las cuales cada generación Clasifica los cementos de acuerdo con diferentes criterios.

- **1ra. Generación:** Clasificación según composición química del producto final
- **2da. Generación:** Definición de los componentes adicionales “no tradicionales” en el producto final: cantidad y calidad.
- **3ra. Generación:** Clasificación según el desempeño que el cliente requiere del producto final. (HOLCIM, 2016)

Título norma	Norma Nacional	Norma Internacional	1ra Publicación	Edad
Cementos Portland. Requisitos	NTE INEN 152	ASTM C150	1940	76 años
Cementos Hidráulicos Compuestos. Requisitos.	NTE INEN 490	ASTM C595	1967	47 años
Cementos Hidráulicos. Requisitos de Desempeño.	NTE INEN 2380	ASTM C1157	1992	21 años

*Ilustración 6 Normas de cementos (Obtenido de Holcim.com)*

Hoy en día la normativa NTE INEN 2380 clasifica a los cementos de acuerdo con sus propiedades específicas sin tomar en cuenta restricciones sobre su composición o la de sus constituyentes. (HOLCIM, 2016)

La normativa actual establece los siguientes 6 tipos de cementos:

- Tipo GU: Para construcción en general
- Tipo HE: Alta resistencia inicial
- Tipo MS: Moderada resistencia a los sulfatos
- Tipo HS: Alta resistencia a los sulfatos
- Tipo MH: Moderado calor de hidratación
- Tipo LH: Bajo calor de hidratación

### **2.4.3 Consistencia Normal del Cemento**

La determinación de la consistencia normal del cemento nos sirve para determinar la manejabilidad o plasticidad de la pasta en relación con la cantidad de agua de amasado es decir

nos ayuda a determinar el grado de fluidez de la pasta además de que nos ayuda a determinar los tiempos de fraguado del cemento (Método para determinar la consistencia normal del cemento - Cementos Tequendama, 2021).

#### **2.4.4 Finura**

La finura del cemento nos indica como el cemento influirá en el desarrollo del calor de hidratación y su velocidad de hidratación, además entre más fino sea el cemento su velocidad de hidratación será mayor, así como el calor de hidratación aumentara y de igual manera acelera el desarrollo de su resistencia en los primeros 7 días (CETE.SA, 2021)

#### **2.4.5 Tiempo de Fraguado**

El objetivo del tiempo de fraguado del cemento es determinar el tiempo necesario desde que se crea la pasta en un estado plástico y esta pasa a un estado sólido donde se determina su tiempo de fraguado; Existen 2 tiempos de fraguado, el inicial el cual es el periodo en el cual la pasta pierde plasticidad y al final de este tiempo se encuentra en un estado semisólido en donde nos encontramos con el tiempo de fraguado final. (UCA, s.f.). Para determinar los tiempos de fraguado tenemos diferentes ensayos como el método VICAT o el método de la aguja de Gillmore.

#### **2.4.6 Expansión**

El exceso de expansión de los cementos se puede dar por el exceso de cal libre o de magnesia lo cual da por resultado expansión y la desintegración del hormigón en el cual se usó este cemento, en el caso de exceso de cal libre se debe a que esta no llega a combinarse con el resto de componentes y aumenta su volumen hasta explotar, en el caso del magnesio su exceso forma la periclase (La periclase es la forma mineral del óxido de magnesio) el cual está formado por el óxido de magnesio originado a partir de un mal enfriamiento del Clinker, el exceso de

magnesio puede llegar a producir fisuras a lo largo del tiempo (EXPANSIÓN DEL CEMENTO., 2010) & (Calleja, 1971)

#### **2.4.7 Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento**

La resistencia de los morteros está dada por el grado de hidratación del cemento debido a la estructura que se logra al mezclarse con la arena y la pasta de cemento endureciéndose lentamente con el tiempo y convirtiéndose en una piedra artificial, de igual manera su resistencia será dada por su relación de “Agua/Cemento” siendo la más óptima la obtenida en la consistencia normal del cemento (Castro, 2014)

## CAPÍTULO 3: ENSAYOS DE LABORATORIO AGREGADOS Y CEMENTOS

### 3.1 Ensayos de Áridos

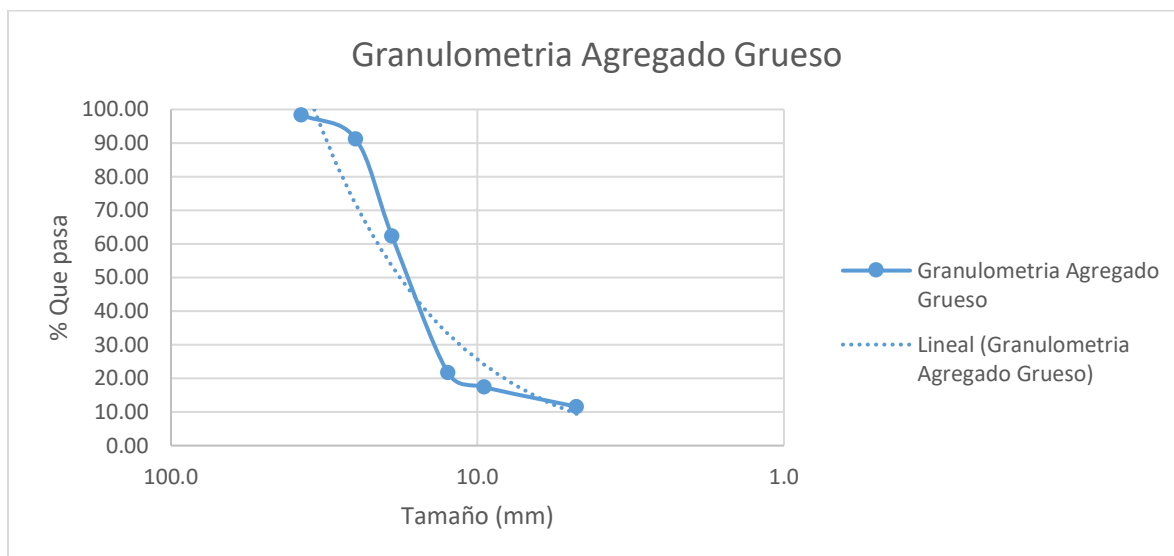
#### 3.1.1 Granulometría (INEN 696)

*Tabla 3.1 Granulometría del Agregado Grueso.*

Granulometría (INEN 696)								
Agregado Grueso								
Tamiz N°	Abertura (mm)	Masa retenido parcial (g)	Masa retenida acumulada (g)	Porcentaje retenido %	Porcentaje que pasa %	Porcentaje que pasa %		Comprobación con la INEN 696
						Minimo	Maximo	
1 1/2	37.5	135	135	1.628	98.37	95	100	CUMPLE
1	25.0	585	720	8.685	91.31	90	95	CUMPLE
3/4	19.0	2400	3120	37.636	62.36	60	80	CUMPLE
1/2	12.5	3365	6485	78.227	21.77	20	60	CUMPLE
3/8	9.5	360	6845	82.569	17.43	15	20	CUMPLE
N°4	4.8	485	7330	88.420	11.58	10	15	CUMPLE
Pasa tamiz N°4		960	8290	100	0.00			
TOTAL		8290			Modulo de finura	7.10		

*Fuente: Propia*

*Gráfica 3.1 Curva Granulométrica Agregado Grueso.*



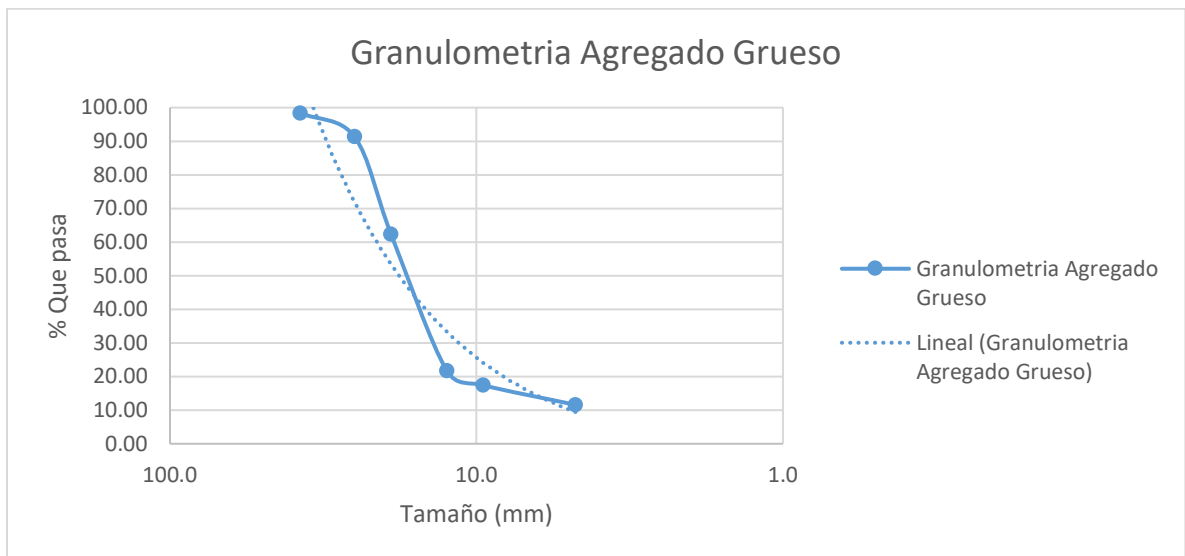
*Fuente: Propia*

Tabla 3.2 Granulometría del Agregado Fino.

Granulometría (INEN 696)								
Agregado Fino								
Tamiz N°	Abertura (mm)	Masa retenido parcial (g)	Masa retenida acumulada (g)	Porcentaje retenido %	Porcentaje que pasa %	Porcentaje que pasa %		Comprobación con la INEN 696
						Minimo	Maximo	
N° 4	4.26	0.49	0.49	0.16	99.84	1	100	CUMPLE
N°8	2.36	65.5	65.99	22.00	78.00	80	100	CUMPLE
N° 16	1.19	67.1	133.09	44.37	55.63	50	85	CUMPLE
N°30	0.595	46.9	179.99	60.00	40.00	25	60	CUMPLE
N° 50	0.297	36.9	216.89	72.30	27.70	5	30	CUMPLE
N° 100	0.142	26.7	243.59	81.20	18.80	0	10	NO CUMPLE
Charola	0.00	56.39	299.98	100	0.00			
TOTAL		299.98			Modulo de finura	2.80		

Fuente: Propia

Gráfica 3.2 Curva Granulométrica Agregado Fino.



Fuente: Propia

### 3.1.2 Material que pasa el Tamiz N°200 (NTE INEN 697)

Tabla 3.3 Material Fino que pasa el Tamiz N° 200.

Material Natural que pasa el Tamiz N°200 (NTE INEN 697)			
Material Fino que pasa el Tamiz N° 200			
Masa inicial (g)	retenida en el tamiz N°200 (g)	Porcentaje que pasa el Tamiz N°200	Limite maximo según la INEN 967 (Porcentaje que pasa de 3% - 5% del AF)
300	242.8	19.0667%	No Cumple

Fuente: Propia

### 3.1.3 Gravedad Específica y Absorción de los Agregados (NTE INEN 856-857)

Tabla 3.4 Gravedad Específica y Absorción Del Agregado Grueso.

Gravedad Específica y Absorción de los Agregados (NTE INEN 856-857)						
Agregado Grueso						
Masa SSS (g)	Masa Seca (g)	Masa Sumergida (g)	Gravedad específica Bulk	Gravedad específica SSS	Gravedad específica Aparente	Absorción
3056	3000	1781	2.35	2.40	2.46	1.9%

Fuente: Propia

Tabla 3.5 Gravedad Específica y Absorción Del Agregado Fino.

Gravedad Específica y Absorción de los Agregados (NTE INEN 856-857)								
Agregado Fino								
Matraz + agua (g)	Muestra + Agua + Matraz (g)	Muestra SSS (g)	Muestra seca (g)	Masa Agua Añadida (g)	Ge (Bulk)	Ge (SSS)	Ge (Aparente)	Absorción
642.10	950	491.80	465.70	500	2.53	2.67	2.95	5.60%

Fuente: Propia

### 3.1.4 Peso Unitario (NTE INEN 858)

Tabla 3.6 Peso Unitario de los Agregados.

Peso Unitario (NTE INEN 858)						
Agregado	Masa recipiente (kg)	Volumen recipiente (m3)	Recipiente + material compactado (kg)	Recipiente + material Suelto (kg)	Peso Unitario Suelto (kg/m3)	Peso Unitario Compactado (kg/m3)
Fino	5.05	0.00298	9.84	9.07	1348.32	1607.38
Grueso	8.53	0.00995	22.37	20.46	1199.10	1390.85

Fuente: Propia

### 3.1.5 Contenido Orgánico (NTE INEN 855)

Tabla 3.7 Contenido Orgánico.

Contenido Orgánico (NTE INEN 855)	
Numero de la Escala	INEN 855 ( Normalizado 3)
1	CUMPLE

Fuente: Propia

### 3.1.6 Equivalente de Arena (AASHTO T 176)

Tabla 3.8 Equivalente de Arena.

Equivalente de Arena (AASHTO T 176)		
N <sup>a</sup>	1	2
Lectura Inicial	4.7	4.8
Lectura Final	4.0	4.2
Equivalente de Arena	85%	88%
Promedio	86%	

Fuente: Propia

### 3.1.7 Abrasión del Agregado Grueso (NTE INEN 860)

Tabla 3.9 Abrasión del Agregado Grueso.

Abrasión del Agregado Grueso (NTE INEN 860)				
Abracion TIPO	Peso inicial (g)	Peso Final (g)	Abracion %	Comprobación NTE INEN 860 (% <50)
A	5000	3658	26.84%	CUMPLE

Fuente: Propia

### 3.1.8 Terrones de Arcilla (NTE INEN 698)

Tabla 3.10 Terrones de Arcilla Agregado Grueso.

Terrones de Arcilla (NTE INEN 698)			
Agregado Grueso			
Masa antes del Ensayo (g)	Masa despues del ensayo (g)	% Terrones de Arcilla	Comprobación INEN (% < 5%)
2000	1987	0.6543%	CUMPLE

Fuente: Propia

Tabla 3.11 Terrones de Arcilla Agregado Fino.

Terrones de Arcilla (NTE INEN 698)			
Agregado Fino			
Masa antes del Ensayo (g)	Masa despues del ensayo (g)	% Terrones de Arcilla	Comprobación INEN
300	112.2	63%	CUMPLE

Fuente: Propia

### 3.1.9 Contenido de humedad de los Agregados (INEN 862 1R)

Tabla 3.12 Contenido de humedad del Agregado Grueso.

Contenido de humedad de los Agregados (INEN 862 1R)			
Agregado Grueso			
Muestras	Masa inicial (g)	Masa seca (g)	Contenido de Humedad (%)
1	1000	988.59	1.1542%
2	1000	989.29	1.0826%
			1.1184%

Fuente: Propia

Tabla 3.13 Contenido de humedad del Agregado Fino.

Contenido de humedad de los Agregados (INEN 862 1R)					
Agregado Fino					
Muestras	Masa inicial (g)	Peso Recipiente (g)	Masa seca + recipiente (g)	Masa seca (g)	Contenido de Humedad (%)
1	200	81.6	273.6	192	4.17%
2	200	85.5	273.2	187.7	6.55%
3	200	85.5	275.5	190	5.26%
					5.33%

Fuente: Propia

### 3.2 Ensayos para cementos

#### 3.2.1 Consistencia Normal del Cemento (NTE INEN 157)

Tabla 3.14 Consistencia Normal del Cemento.

Consistencia Normal del Cemento (NTE INEN 157)					
Muestras	Cemento (gr)	Agua (gr)	Relación A/C	Penetración (mm)	Comprobación INEN (< 10±1mm)
1	650	184	0.28	7	Cumple
2	650	188	0.29	10	Cumple

Fuente: Propia

#### 3.2.2 Tiempo de Fraguado (NTE INEN 158)

Tabla 3.15 Tiempo de Fraguado del Cemento.

Tiempo de Fraguado (NTE INEN 158)						
Cemento (gr)	650	Tiempo de Fraguado (min)		Hora	Penetración (mm)	Comprobación INEN 158
Agua (gr)	190					
Hora de inicio del ensayo	10:20 AM	Fraguado Inicial	120	10:40 AM	+25mm	Cumple
		Tiempo de Fraguado Final	335	4:05 PM	0 mm	Cumple
Los cementos deben tener un rango mínimo de 60 minutos en el tiempo de fraguado inicial, y un rango mínimo de 90 minutos en el tiempo de fraguado final, cuando se ha ensayado de acuerdo con el Método A.						

Fuente: Propia

#### 3.2.3 Finura Blaine (NTE INEN 196)

Tabla 3.16 Finura Blaine.

Finura Blaine (NTE INEN 196)			
Muestras	Tiempo	Finura (kg/m <sup>2</sup> )	Comprobación INEN (260-430)
1	2min 12seg	319.19	Cumple
2	2min 18seg	345.99	Cumple
3	2min 15seg	345.98	Cumple
Promedio		337.05	Cumple

Fuente: Propia

### 3.2.4 Gravedad Específica (NTE INEN 156)

Tabla 3.17 Gravedad Especifica del Cemento.

<b>Gravedad Especifica (NTE INEN 156)</b>		
<b>Muestras</b>	1	2
<b>Masa (gr)</b>	64	64
<b>Primera Lectura (cm<sup>3</sup>)</b>	0.6	0.5
<b>Segunda Lectura (cm<sup>3</sup>)</b>	22.6	22.4
<b>Gravedad específica</b>	2.82	2.80
<b>Promedio (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.81	

Fuente: Propia

### 3.2.5 Resistencia a la Compresión de Morteros (NTE INEN 488)

Tabla 3.18 Resistencia a la Compresión de Morteros.

<b>Resistencia a la Compresión de Morteros (NTE INEN 488)</b>						
<b>Muestras</b>	1	2	3	4	5	6
<b>Edad de Rotura</b>	3	3	7	7	28	28
<b>Ancho (mm)</b>	51.71	50.30	49.82	50.40	50.26	49.98
<b>Largo (mm)</b>	51.30	51.25	49.09	50.36	50.42	50.12
<b>Altura (mm)</b>	50.84	51.33	50.05	50.45	50.30	50.25
<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	26.53	25.78	24.46	25.38	25.34	25.05
<b>Peso (gr)</b>	291.40	293.86	276.30	277.10	294.11	277.67
<b>Carga (N)</b>	46430	45157	58795	59892	70456	71159
<b>Carga Kg</b>	4731.217	4601.4983	5991.2105	6102.9948	7179.4664	7251.1021
<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	178.35	178.50	244.97	240.45	283.31	289.47
<b>Comprobación INEN 152</b>	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Propia

## CAPÍTULO 4: DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

### 4.1 Dosificación del hormigón

#### 4.1.1 Método de dosificación del (ACI 211)

La dosificación por el método de la ACI 211 consta de diferentes pasos como:

- La determinación del asentamiento: El ACI recomienda diferentes valores de asentamiento dependiendo del tipo de estructura.

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO	EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN	SISTEMA DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COMPACTACIÓN
<b>MUY SECA</b>	0.0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantalla de cimentación.	Con vibradores de formaleta, concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración externa, puede requerirse presión.
<b>SECA</b>	20-35	Pavimentos.	Pavimentos con máquina terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
<b>SEMISECA</b>	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple, losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
<b>MEDIA (PLÁSTICA)</b>	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas con vibración
<b>HUMEDA</b>	100-150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas con vibración.
<b>MUY HUMEDA</b>	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ".	Tubo-embudo-tremie.	Secciones altamente reforzadas con vibración.
<b>SUPER FLUIDA</b>	>200	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse.

*Ilustración 4.1 Determinación del asentamiento (Obtenido de ACI 211)*

- Resistencia a la compresión: La ACI nos proporciona una tabla con diferentes relaciones de agua/cemento y la resistencia a la compresión a la edad de 28 días esta tabla es meramente referencial ya que esto depende en gran manera del cemento y los materiales por lo cual para realizar correctamente el diseño de un hormigón se debe realizar la mezcla para diferentes relaciones de agua/cemento y así encontrar la relación agua cemento requerida para nuestro diseño.
- Tamaño máximo nominal debe cumplir con los requisitos del NSR/98:
  - $1/3$  Espesor de losa
  - $1/5$  Menor distancia entre lados de formaleta
  - $3/4$  Espacio libre entre varillas de refuerzo
- Cantidad de agua neta: Esta depende del asentamiento requerido y si el hormigón cuenta con aire. incluido o no según los requerimientos

ASENTAMIENTO (cm)	CONCRETOS CON AIRE INCLUIDO						
	TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES (mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
0,0 – 2,5	175	170	155	150	135	130	120
3,0 – 5,0	180	175	165	160	145	140	135
5,5 – 7,5	190	185	175	170	155	150	145
8,0 – 10,0	200	190	180	175	165	155	150
10,5 – 15,0	210	195	185	180	170	160	155
15,5 – 18,0	215	205	190	185	175	165	160
<b>% CONTENIDO DE AIRE</b>	8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5

Tabla 4.1 Concretos con Aire Incluido % contenido 8.0 a 3.5 (Obtenido de ACI 211)

ASENTAMIENTO (cm)	CONCRETOS SIN AIRE INCLUIDO						
	TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES (mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
0,0 – 2,5	185	180	165	160	140	135	125
3,0 – 5,0	205	200	185	180	160	155	145
5,5 – 7,5	215	210	190	185	170	165	155
8,0 – 10,0	225	215	200	195	175	170	165
10,5 – 15,0	235	225	205	200	180	175	170
15,5 – 18,0	240	230	210	205	185	180	175
<b>% CONTENIDO DE AIRE</b>	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3

Tabla 4.2 Concretos con Aire Incluido % contenido 3.0 a 0.3 (Obtenido de ACI 211)

- Cantidad de Cemento: va en relación con el agua neta y la relación agua/cemento.

$$cemento = \frac{agua\ neta}{A/C} \quad \text{Ecuación (4.1)}$$

- Cantidades de agregado Grueso y Fino: Se obtiene un promedio entre las gravedades específicas saturadas de los dos agregados, con lo que calculamos la cantidad de agregados a utilizar a partir del peso unitario teórico del hormigón ( $U_m$ ). De acuerdo con las características granulométricas de los agregados, se estima un porcentaje de agregado fino y grueso. Para la mezcla los porcentajes se pueden obtener mediante la ayuda del módulo de finura aplicando las fórmulas (1) y (2), en la práctica se debe observar que la cantidad de pasta sea adecuada, que no exista escurrimiento y segregación; cuando se produce este problema se corrigen los % de materiales, se aumenta el agregado fino y se disminuye el agregado grueso.

$$Agregados\ (sss) = U_m - Cemento - Agua\ neta \quad \text{Ecuación (4.2)}$$

$$U_m = 10Ga(100 - A) + Cm(1 - Ga/Gc) - Wm(Ga - 1) \quad \text{Ecuación (4.3)}$$

Donde:

**Um**= Peso unitario del Hormigón fresco, Kg/m<sup>3</sup>

**Ga**= Gravedad específica (sss) promedio del agregado grueso y fino combinado

**A**= Porcentaje de aire atrapado

**Wm** = Cantidad de agua neta, Kg/m<sup>3</sup>

**Cm**= Cantidad de cemento, Kg/m<sup>3</sup>

$$\text{Agregado Fino(sss)} = X * \text{Agregados (sss)} \quad \text{Ecuación (4.4)}$$

$$\text{Agregado Grueso(sss)} = Y * \text{Agregados (sss)} \quad \text{Ecuación (4.5)}$$

Donde:

**X**= % de agregado fino en la mezcla

**Y**= % de agregado grueso en la mezcla

- **Humedad y Absorción:** La mezcla del hormigón finalmente se corrige por las humedades en los agregados y su absorción, ya que afecta directamente al agua de la mezcla.

$$\text{Agr. (nat)} = \text{Agr. (s)} * (1 + \% \text{HN}/100) \quad \text{Ecuación (4.6)}$$

$$\text{Agr. (s)} = \text{Agr. (sss)} / (1 + \% \text{Ab}/100) \quad \text{Ecuación (4.7)}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua mezcla} &= \text{Agua neta} + \text{Afino}(s)(\% \text{ Ab} - \% \text{ HN})/100 && \text{Ecuación (4.8)} \\ &+ \text{Agrueso}(s)(\% \text{ Ab} - \% \text{ HN})/100 \end{aligned}$$

Donde:

**Agr.(nat)**= Agregado natural

**%HN**= % de Humedad Natural

**%Ab**= % de Absorción

#### **4.1.2 Dosificación para un hormigón de peso normal $f'c = 240\text{kg/cm}^2$ y $f'c = 280\text{kg/cm}^2$**

En las dosificaciones se trabajó para conseguir un hormigón de uso común, el cual tendrá un asentamiento entre 75 y 100 milímetros, sin embargo, la dosificación se realizó para un asentamiento de 80 +/- 10 milímetros. Luego de la primera mezcla se debe comprobar si el peso unitario real y el asentamiento es igual o se aproxima al esperado, de no ser el caso se realiza una restimación del agua neta la cual implica correcciones por los dos parámetros previamente mencionados se aplica la siguiente fórmula:

- Corrección por peso unitario: Factor de corrección=Peso unitario esperado/Peso unitario obtenido
- Corrección por asentamiento: Por cada centímetro de asentamiento menor al asentamiento esperado, se deben incrementar 2Kg de agua/metro cúbico de hormigón. Por cada centímetro en exceso de asentamiento con respecto al asentamiento esperado, se deben reducir 2Kg de agua/metro cúbico de hormigón
- Agua neta corregida = Agua neta/factor de corrección+2\*(asentamiento requerido - asentamiento obtenido)

- Esta restimación se lo realiza cuantas veces sea necesario hasta alcanzar o aproximarse a los pesos unitarios y asentamientos esperados.

#### Resumen de dosificaciones

Tabla 4.3 Dosificación  $F'c= 240 \text{ kg/cm}^2$

Resumen Dosificación $f'c= 240\text{kg/cm}^2 - 0\%$	
Agua	245.47 $\text{kg/m}^3$
Cemento	406.91 $\text{kg/m}^3$
Arena	928.50 $\text{kg/m}^3$
Ripio	631.22 $\text{kg/m}^3$

Fuente: Propia

Tabla 4.4 Dosificación  $F'c= 240 \text{ kg/cm}^2$

Resumen Dosificación $f'c= 280\text{kg/cm}^2 - 0\%$	
Agua	243.96 $\text{kg/m}^3$
Cemento	478.34 $\text{kg/m}^3$
Arena	894.47 $\text{kg/m}^3$
Ripio	608.08 $\text{kg/m}^3$

Fuente: Propia

#### 4.1.3 Dosificación de la fibra de Polipropileno

La cantidad de fibra añadida a la mezcla es expresada como una fracción del peso del hormigón, además la cantidad optima esta principalmente limitada no por su mejora en las propiedades mecánicas sino por su consideración practica cómo será la facilidad de rociado y la dispersión de las fibras en la mezcla ya que en el caso de tener un porcentaje alto de fibras la mezcla no podría llegar a ser del todo homogénea llegando a ocasionar un deterioro en las propiedades mecánicas del hormigón.

La densidad de las fibras de polipropileno utilizada en la presente investigación es de 910kg/m<sup>3</sup>, como se especificó anteriormente el porcentaje de fibra es una fracción del peso del hormigón por lo cual la masa de fibra añadida sería calculada por la siguiente expresión.

$$\text{masa de fibra ppl} = \delta_{ppl} * \% \text{ de fibra en } 1 \text{ m}^3 \quad \text{Ecuación ( 4.9)}$$

$$\text{masa de fibra ppl} = \frac{910 \text{ kg}}{\text{m}^3} * 0.2\% \text{ m}^3 \quad \text{Ecuación ( 4.10)}$$

$$\text{masa de fibra ppl} = 1.82 \text{ kg} \quad \text{Ecuación ( 4.11)}$$

Tabla 4.5 Cuadros de resumen de dosificaciones con Polipropileno

Resumen Dosificación f'c= 240kg/cm <sup>2</sup> - 0.2%		Resumen Dosificación f'c= 240kg/cm <sup>2</sup> - 0.3%	
Agua	245.47 kg/m <sup>3</sup>	Agua	245.47 kg/m <sup>3</sup>
Cemento	406.91 kg/m <sup>3</sup>	Cemento	406.91 kg/m <sup>3</sup>
Arena	928.50 kg/m <sup>3</sup>	Arena	928.50 kg/m <sup>3</sup>
Ripio	631.22 kg/m <sup>3</sup>	Ripio	631.22 kg/m <sup>3</sup>
Fibra PPL	1.82 kg/m <sup>3</sup>	Fibra PPL	2.73 kg/m <sup>3</sup>

Resumen Dosificación f'c= 240kg/cm <sup>2</sup> - 0.5%		Resumen Dosificación f'c= 280kg/cm <sup>2</sup> - 0.2%	
Agua	245.47 kg/m <sup>3</sup>	Agua	243.96 kg/m <sup>3</sup>
Cemento	406.91 kg/m <sup>3</sup>	Cemento	478.34 kg/m <sup>3</sup>
Arena	928.50 kg/m <sup>3</sup>	Arena	894.47 kg/m <sup>3</sup>
Ripio	631.22 kg/m <sup>3</sup>	Ripio	608.08 kg/m <sup>3</sup>
Fibra PPL	4.55 kg/m <sup>3</sup>	Fibra PPL	1.82 kg/m <sup>3</sup>

Resumen Dosificación f'c= 280kg/cm <sup>2</sup> - 0.3%		Resumen Dosificación f'c= 280kg/cm <sup>2</sup> - 0.5%	
Agua	243.96 kg/m <sup>3</sup>	Agua	243.96 kg/m <sup>3</sup>
Cemento	478.34 kg/m <sup>3</sup>	Cemento	478.34 kg/m <sup>3</sup>
Arena	894.47 kg/m <sup>3</sup>	Arena	894.47 kg/m <sup>3</sup>
Ripio	608.08 kg/m <sup>3</sup>	Ripio	608.08 kg/m <sup>3</sup>
Fibra PPL	2.73 kg/m <sup>3</sup>	Fibra PPL	4.55 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Propia

## 4.2 Fabricación de muestras de hormigón

### 4.2.1 Ensayo a compresión del hormigón

Este es uno de los ensayos más importantes al diseñar un hormigón, ya que con este ensayo logramos obtener una de las propiedades mecánicas más relevantes siendo esta la resistencia a la compresión.

El ensayo consiste a someter la probeta o muestra de hormigón cilíndrica de 30cm de longitud y 15cm de diámetro a una carga axial constante a razón de 140 kg/cm<sup>2</sup>/min. Hasta que se produzca el fallo de la muestra y así obtener la carga máxima que resiste nuestro hormigón. (NTE INEN 1573, 2010)

#### 4.2.1.1 Cálculo del esfuerzo a compresión

La resistencia a la compresión se obtiene dividiendo la carga máxima aplicada para el área del cilindro, mediante la siguiente formula:

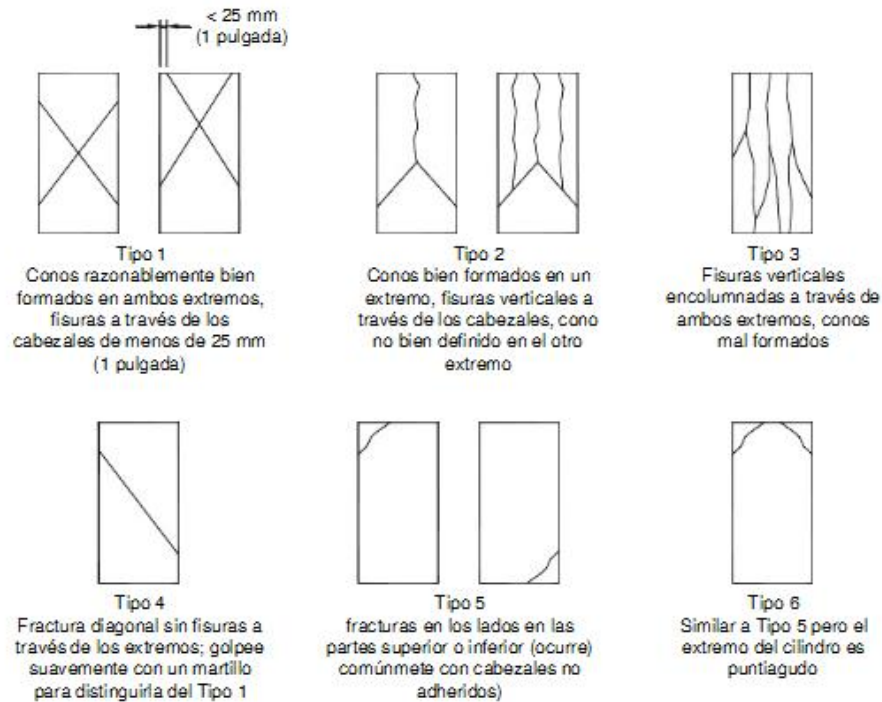
$$f'c = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación ( 4.12)}$$

En donde:

**f'c**= Esfuerzo de compresión del hormigón (Kg/cm<sup>2</sup>)

**P**= Carga máxima de ruptura (kg)

**A** = Área del cilindro (cm<sup>2</sup>)



*Ilustración 4.2 Tipos de fallas al esfuerzo de compresión en muestras cilíndricas (Obtenido de GOOGLE IMAGENES)*

#### 4.2.2 Flexión de vigas

El ensayo de tracción por flexión de vigas tiene como objetivo determinar el módulo de rotura del Hormigón en MPa el cual es una medida de la resistencia a la falla por flexión. (NTE INEN 2554 , 2011)

La normativa NTE INEN 2554 establece un método para determinar la flexión del hormigón mediante el uso de una viga simple apoyada en los extremos y cargada en los tercios de la luz libre.

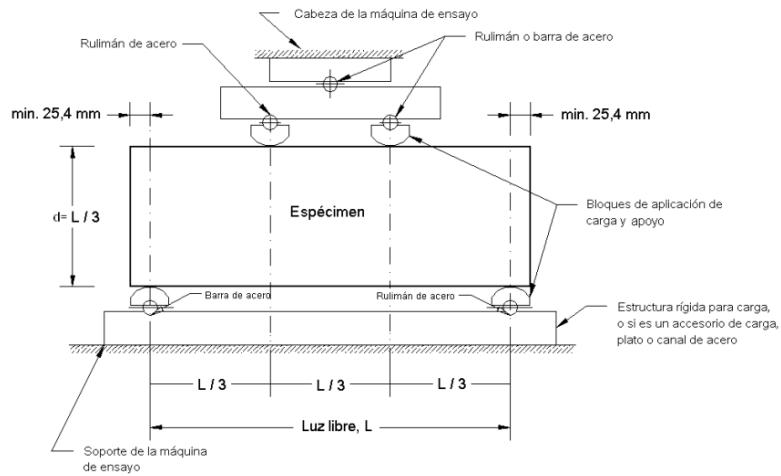


Ilustración 4.3 Esquema de Flexión de vigas (Obtenido de INEN 2554)

#### 4.2.2.1 Cálculo del módulo de rotura

Si la fractura se produce en la superficie de tracción dentro del tercio medio de la luz libre, calcular el módulo de rotura se calcula de la siguiente manera. (NTE INEN 2554 , 2011)

$$R = \frac{PL}{bd^2} \quad \text{Ecuación ( 4.13)}$$

Donde:

**R** = módulo de rotura, en MPa,

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

**L** = Luz libre, en mm,

**b** = promedio del ancho del espécimen, en la fractura, en mm,

**d** = promedio de la altura del espécimen, en la fractura, en mm.

Si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, pero no más allá del 5% de la luz libre, calcular el módulo de rotura de la siguiente manera. (NTE INEN 2554 , 2011)

$$R = \frac{3Pa}{bd^2} \quad \text{Ecuación ( 4.14)}$$

Donde:

**a** = distancia media entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de la tracción de la viga, en mm.

Si la fractura se produce en la superficie de tracción fuera del tercio medio de la luz libre, en más de un 5% de la luz libre, desechar los resultados del ensayo. (NTE INEN 2554 , 2011)

### **4.2.3 Ensayo brasilero**

El objetivo de este ensayo es obtener la resistencia a la tracción axial la cual puede ser obtenida por el ensayo de tracción directa pero debido a su complejidad se utiliza el ensayo de tracción indirecta “brasileño” los cuales son mucho más sencillos de realizar; el ensayo brasilero consiste en la aplicación de una carga externa a compresión a una de las caras mientras que el otro extremo permanece apoyado consiguiendo que se produzcan 2 fuerzas diametralmente opuestas lo que ocasiona una distribución uniforme de tracciones transversales a lo largo del eje de carga. (Angel, 2014)

La resistencia a la tracción por compresión diametral se utiliza en el diseño estructural de elementos de hormigón liviano, para evaluar la resistencia al corte que proporciona el hormigón y para determinar la longitud de desarrollo del refuerzo. (NTE INEN 2648, 2013)

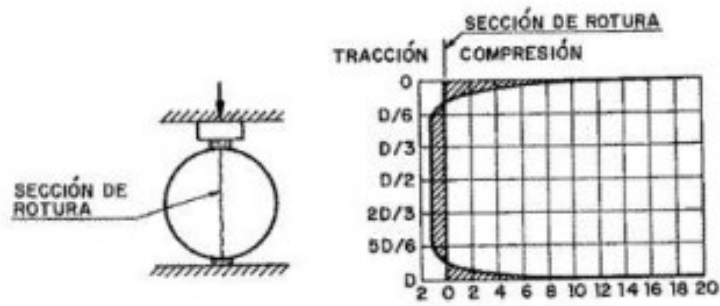


Ilustración 4.4 Ensayo de tracción Brasileo (Obtenido de GOOGLE IMAGENES)

La resistencia a la tracción se calcula mediante la siguiente formula:

$$f_{cti} = 2 * \frac{P}{\pi} * D * L \quad \text{Ecuación (4.15)}$$

Donde:

**f<sub>cti</sub>**= Resistencia a tracción expresada en (Kg/cm<sup>2</sup>)

**P**= Carga a la compresión en (Kg)

**D**= Diámetro de la probeta en (cm)

**L**= Longitud de la probeta en (cm)

### 4.3 Ensayo a compresión de cilindros del hormigón

#### 4.3.1 Compresión de cilindros con resistencia de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup>, sin polipropileno.

##### Compresión de cilindros

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 240 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0%                      Fecha:

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	22/08/2022	22/08/2022	22/08/2022	22/08/2022	22/08/2022
Fecha de ensayo	19/09/2022	19/09/2022	19/09/2022	19/09/2022	19/09/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	148.94	150.20	149.98	150.61	150.18
Diámetro 2 (mm)	148.19	150.64	150.10	150.64	150.96
Altura 1 (mm)	300.75	300.75	304.46	298.40	298.90
Altura 2 (mm)	300.60	300.56	304.04	299.24	299.11
Altura 3 (mm)	300.10	300.60	304.28	299.19	300.19
Masa (Kg)	11.66	11.81	12.28	11.73	11.84
Carga Máxima (kN)	430.69	434.42	436.43	435.18	438.15
Tipo de Falla	V	V	VI	V	V
Diámetro promedio (mm)	148.57	150.42	150.04	150.63	150.57
Altura promedio (mm)	300.48	300.64	304.26	298.94	299.40
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	17334.96	17770.56	17680.88	17819.03	17806.02
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	253.35	249.28	251.70	249.04	250.92
F'c Promedio	250.85				
Desviación Estándar	1.784278502				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	249.0867717				

### Compresión de cilindros

Proyecto:	Tesis	Ensayado por:	C. Medina - S. Vega
F'c esperado:	280 kg/cm <sup>2</sup>	Calculado por:	C. Medina - S. Vega
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Patricio Castro
% polipropileno:	0%	Fecha:	

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022
Fecha de ensayo	09/11/2022	09/11/2022	09/11/2022	09/11/2022	09/11/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151.44	151.97	151.54	151.43	151.26
Diámetro 2 (mm)	151.21	151.08	151.45	151.02	151.27
Altura 1 (mm)	304.67	302.89	301.02	303.60	308.64
Altura 2 (mm)	305.74	302.25	300.84	303.02	307.65
Altura 3 (mm)	304.94	302.41	300.97	303.26	308.23
Masa (Kg)	12.19	11.66	11.69	11.66	12.02
Carga Máxima (kN)	480.60	480.50	470.10	471.50	470.70
Tipo de Falla	IV	IV	V	IV	V
Diámetro promedio (mm)	151.33	151.53	151.50	151.23	151.27
Altura promedio (mm)	305.12	302.52	300.94	303.29	308.17
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	17985.03	18032.60	18025.47	17961.27	17970.77
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	272.49	271.72	265.94	267.69	267.09
F'c Promedio	268.99				
Desviación Estándar	2.928452465				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	266.1706002				

**4.3.2 Compresión de cilindros con resistencia de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup>, con 0.20 % polipropileno adicionado.**

Compresión de cilindros

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 240 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.2%              Fecha:

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	24/08/2022	24/08/2022	24/08/2022	24/08/2022	24/08/2022
Fecha de ensayo	21/09/2022	21/09/2022	21/09/2022	21/09/2022	21/09/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	150.77	150.29	148.91	151.71	150.50
Diámetro 2 (mm)	148.39	150.16	148.00	152.19	151.76
Altura 1 (mm)	308.39	301.26	298.70	305.44	304.91
Altura 2 (mm)	306.32	300.25	299.00	306.68	304.55
Altura 3 (mm)	306.32	300.48	299.66	307.10	305.26
Masa (Kg)	12.10	11.77	11.65	12.38	11.72
Carga Máxima (kN)	474.32	472.83	470.91	480.11	472.12
Tipo de Falla	IV	V	III	IV	IV
Diámetro promedio (mm)	149.58	150.23	148.46	151.95	151.13
Altura promedio (mm)	307.01	300.66	299.12	306.41	304.91
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	17572.64	17724.51	17309.30	18133.90	17938.71
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	275.24	272.03	277.42	269.98	268.38
F'c Promedio	272.56				
Desviación Estándar	3.717238537				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	268.6958675				

### Compresión de cilindros

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 280 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.2%              Fecha:

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	28/09/2022	28/09/2022	28/09/2022	28/09/2022	28/09/2022
Fecha de ensayo	26/10/2022	26/10/2022	26/10/2022	26/10/2022	26/10/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	153.98	151.80	151.57	150.95	152.01
Diámetro 2 (mm)	155.60	150.90	150.95	150.75	150.88
Altura 1 (mm)	305.69	301.70	299.59	302.40	301.20
Altura 2 (mm)	304.60	301.62	300.42	304.60	302.37
Altura 3 (mm)	304.70	301.57	300.57	303.79	302.40
Masa (Kg)	12.31	11.61	11.67	11.54	11.77
Carga Máxima (kN)	557.40	559.20	554.70	542.40	552.10
Tipo de Falla	V	V	V	V	V
Diámetro promedio (mm)	154.79	151.35	151.26	150.85	151.45
Altura promedio (mm)	305.00	301.63	300.19	303.60	301.99
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	18818.10	17990.98	17969.59	17872.30	18013.57
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	302.05	316.95	314.78	309.47	312.54
F'c Promedio	311.07				
Desviación Estándar	5.797370394				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	303.5305379				

**4.3.3 Compresión de cilindros con resistencia de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup>, con 0.30 % polipropileno adicionado.**

Compresión de cilindros

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 240 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.3%              Fecha:

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	14/09/2022	14/09/2022	14/09/2022	14/09/2022	14/09/2022
Fecha de ensayo	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151.13	151.42	151.10	152.63	151.61
Diámetro 2 (mm)	150.92	151.69	151.84	152.44	151.37
Altura 1 (mm)	300.31	300.41	304.49	304.09	306.70
Altura 2 (mm)	301.2	300.94	304.60	304.07	306.69
Altura 3 (mm)	302.13	299.10	304.09	304.17	304.91
Masa (Kg)	11.77	11.59	12.10	12.01	12.30
Carga Máxima (kN)	426.54	428.51	426.12	426.73	425.81
Tipo de Falla	V	V	V	IV	IV
Diámetro promedio (mm)	151.03	151.56	151.47	152.54	151.49
Altura promedio (mm)	301.21	300.15	304.39	304.11	306.10
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	17913.79	18039.75	18019.52	18273.80	18024.28
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	242.80	242.22	241.14	238.13	240.90
F'c Promedio	241.03				
Desviación Estándar	1.804612685				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	238.6803411				

Compresión de cilindros

Proyecto: Tesis Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 280 kg/cm<sup>2</sup> Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.3% Fecha:

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	04/10/2022	04/10/2022	04/10/2022	04/10/2022	04/10/2022
Fecha de ensayo	01/11/2022	01/11/2022	01/11/2022	01/11/2022	01/11/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	150.39	150.61	149.38	151.65	151.03
Diámetro 2 (mm)	150.31	153.03	151.52	152.93	151.87
Altura 1 (mm)	301.63	305.04	299.67	300.91	302.51
Altura 2 (mm)	301.17	305.32	299.03	304.57	302.15
Altura 3 (mm)	301.40	305.27	300.10	303.70	302.33
Masa (Kg)	11.56	12.64	11.55	11.64	11.80
Carga Máxima (kN)	476.70	482.70	480.50	483.70	480.60
Tipo de Falla	V	V	V	V	V
Diámetro promedio (mm)	150.35	151.82	150.45	152.29	151.45
Altura promedio (mm)	301.40	305.21	299.60	303.06	302.33
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	17754.02	18102.89	17777.65	18215.15	18014.76
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	273.80	271.90	275.61	270.78	272.04
F'c Promedio	272.81				
Desviación Estándar	1.894006236				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	271.0080306				

**4.3.4 Compresión de cilindros con resistencia de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup>, con 0.50 % polipropileno adicionado.**

Compresión de cilindros

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 240 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.5%              Fecha:

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	15/09/2022	15/09/2022	15/09/2022	15/09/2022	15/09/2022
Fecha de ensayo	13/10/2022	13/10/2022	13/10/2022	13/10/2022	13/10/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151.35	150.23	150.15	150.18	150.16
Diámetro 2 (mm)	151.39	150.26	150.01	150.11	150.07
Altura 1 (mm)	299.43	302.35	303.45	303.49	301.70
Altura 2 (mm)	299.75	300.81	303.16	303.70	302.11
Altura 3 (mm)	300.70	301.70	302.75	303.10	302.14
Masa (Kg)	11.67	11.93	11.73	12.09	12.03
Carga Máxima (kN)	411.51	411.72	412.25	412.88	412.80
Tipo de Falla					
Diámetro promedio (mm)	151.37	150.25	150.08	150.15	150.12
Altura promedio (mm)	299.96	301.62	303.12	303.43	301.98
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	17995.73	17729.23	17690.31	17705.64	17698.57
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	233.18	236.81	237.63	237.79	237.84
F'c Promedio	236.64				
Desviación Estándar	1.983745959				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	233.905456				

### Compresión de cilindros

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 280 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.5%              Fecha:

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022
Fecha de ensayo	09/11/2022	09/11/2022	09/11/2022	09/11/2022	09/11/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151.44	151.97	151.54	151.43	151.26
Diámetro 2 (mm)	151.21	151.08	151.45	151.02	151.27
Altura 1 (mm)	304.67	302.89	301.02	303.60	308.64
Altura 2 (mm)	305.74	302.25	300.84	303.02	307.65
Altura 3 (mm)	304.94	302.41	300.97	303.26	308.23
Masa (Kg)	12.19	11.66	11.69	11.66	12.02
Carga Máxima (kN)	480.60	480.50	470.10	471.50	470.70
Tipo de Falla	IV	IV	V	IV	V
Diámetro promedio (mm)	151.33	151.53	151.50	151.23	151.27
Altura promedio (mm)	305.12	302.52	300.94	303.29	308.17
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	17985.03	18032.60	18025.47	17961.27	17970.77
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	272.49	271.72	265.94	267.69	267.09
F'c Promedio	268.99				
Desviación Estándar	2.928452465				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	266.1706002				

#### 4.4 Ensayo de Flexión de vigas

##### 4.4.1 Flexión en vigas con resistencia de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup>, sin polipropileno.

###### Flexión de vigas

Proyecto: Tesis Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
F'c esperado: 240 kg/cm<sup>2</sup> Calculado por: C. Medina - S. Vega  
Edad: 28 días Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
% polipropileno: 0% Fecha:

Muestra	1	2	3
Fecha de Fabricación	22/08/2022	22/08/2022	22/08/2022
Fecha de ensayo	19/09/2022	19/09/2022	19/09/2022
Días de curación	28	28	28
Longitud (mm)	558.00	536.00	560.00
Ancho (mm)	153.00	152.00	154.00
Altura (mm)	151.00	150.00	153.00
Longitud de Apoyo	450.00	450.00	450.00
Masa (Kg)	27.57	26.12	28.09
Carga Máxima (kN)	30.59	30.03	31.83
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	40.23	40.29	40.51
Resistencia Promedio	40.34		
Desviación Estándar	0.149447797		
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	40.236382		

Flexión de vigas

Proyecto: Tesis Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 280 kg/cm<sup>2</sup> Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0% Fecha:

Muestra	1	2	3
Fecha de Fabricación	27/09/2022	27/09/2022	27/09/2022
Fecha de ensayo	25/10/2022	25/10/2022	25/10/2022
Días de curación	28	28	28
Longitud (mm)	565.00	544.00	564.00
Ancho (mm)	155.00	155.00	154.00
Altura (mm)	154.00	156.00	153.00
Longitud de Apoyo	450.00	450.00	450.00
Masa (Kg)	28.10	27.02	28.09
Carga Máxima (kN)	38.19	39.50	39.80
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	47.67	48.05	50.66
Resistencia Promedio	48.80		
Desviación Estándar	1.62687597		
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	47.710632		

**4.4.2 Flexión en vigas con resistencia de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup>, con 0.20 % polipropileno adicionado.**

		Flexión de vigas	
Proyecto:	Tesis	Ensayado por:	C. Medina - S. Vega
F'c esperado:	240 kg/cm <sup>2</sup>	Calculado por:	C. Medina - S. Vega
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Patricio Castro
% polipropileno:	0.2%	Fecha:	

Muestra	1	2	3
Fecha de Fabricación	24/08/2022	24/08/2022	24/08/2022
Fecha de ensayo	21/09/2022	21/09/2022	21/09/2022
Días de curación	28	28	28
Longitud (mm)	547.00	559.00	560.00
Ancho (mm)	154.00	153.00	155.00
Altura (mm)	156.00	151.00	150.00
Longitud de Apoyo	450.00	450.00	450.00
Masa (Kg)	26.58	28.13	27.88
Carga Máxima (kN)	36.05	36.18	36.74
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	44.14	47.59	48.34
Resistencia Promedio	46.69		
Desviación Estándar	2.239290897		
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	44.486892		

Flexión de vigas

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 280 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.2%              Fecha:

Muestra	1	2	3
Fecha de Fabricación	28/09/2022	28/09/2022	28/09/2022
Fecha de ensayo	26/10/2022	26/10/2022	26/10/2022
Días de curación	28	28	28
Longitud (mm)	557.00	541.00	563.00
Ancho (mm)	155.00	153.00	155.00
Altura (mm)	154.00	154.00	155.00
Longitud de Apoyo	450.00	450.00	450.00
Masa (Kg)	27.70	26.84	28.63
Carga Máxima (kN)	44.87	44.45	45.66
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	56.01	56.21	56.26
Resistencia Promedio	56.16		
Desviación Estándar	0.133649448		
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	56.031497		

**4.4.3 Flexión en vigas con resistencia de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup>, con 0.30 % polipropileno adicionado.**

Flexión de vigas

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 240 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.3%              Fecha:

Muestra	1	2	3
Fecha de Fabricación	14/09/2022	14/09/2022	14/09/2022
Fecha de ensayo	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022
Días de curación	28	28	28
Longitud (mm)	540.00	561.00	561.00
Ancho (mm)	151.00	154.00	153.00
Altura (mm)	147.00	150.00	151.00
Longitud de Apoyo	450.00	450.00	450.00
Masa (Kg)	26.08	28.37	27.84
Carga Máxima (kN)	31.10	30.32	30.72
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	43.74	40.16	40.41
Resistencia Promedio	41.43		
Desviación Estándar	1.99792807		
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	40.182211		

Flexión de vigas

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 280 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.3%              Fecha:

Muestra	1	2	3
Fecha de Fabricación	04/10/2022	04/10/2022	04/10/2022
Fecha de ensayo	01/11/2022	01/11/2022	01/11/2022
Días de curación	28	28	28
Longitud (mm)	563.00	540.00	56.20
Ancho (mm)	151.00	151.00	151.00
Altura (mm)	153.00	149.00	152.00
Longitud de Apoyo	450.00	450.00	450.00
Masa (Kg)	28.05	28.46	28.15
Carga Máxima (kN)	38.28	37.10	37.43
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	49.69	50.78	49.23
Resistencia Promedio	49.90		
Desviación Estándar	0.796207162		
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	49.278389		

**4.4.4 Flexión en vigas con resistencia de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup>, con 0.50 % polipropileno adicionado.**

		Flexión de vigas	
Proyecto:	Tesis	Ensayado por:	C. Medina - S. Vega
F'c esperado:	240 kg/cm <sup>2</sup>	Calculado por:	C. Medina - S. Vega
Edad:	28 días	Aprobado por:	Ing. Patricio Castro
% polipropileno:	0.5%	Fecha:	

Muestra	1	2	3
Fecha de Fabricación	14/09/2022	14/09/2022	14/09/2022
Fecha de ensayo	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022
Días de curación	28	28	28
Longitud (mm)	565.00	561.00	540.00
Ancho (mm)	153.00	155.00	151.00
Altura (mm)	150.00	151.00	147.00
Longitud de Apoyo	450.00	450.00	450.00
Masa (Kg)	27.77	27.25	25.70
Carga Máxima (kN)	29.12	29.55	29.46
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	38.82	38.37	41.43
Resistencia Promedio	39.54		
Desviación Estándar	1.653858604		
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	38.412497		

Flexión de vigas

Proyecto: Tesis Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 280 kg/cm<sup>2</sup> Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.5% Fecha:

Muestra	1	2	3
Fecha de Fabricación	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022
Fecha de ensayo	09/11/2022	09/11/2022	09/11/2022
Días de curación	28	28	28
Longitud (mm)	559.00	545.00	540.00
Ancho (mm)	150.00	150.60	150.00
Altura (mm)	150.04	150.60	150.30
Longitud de Apoyo	450.00	450.00	450.00
Masa (Kg)	27.50	28.16	26.26
Carga Máxima (kN)	35.29	35.12	35.89
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	47.96	47.18	48.60
Resistencia Promedio	47.91		
Desviación Estándar	0.711327148		
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	47.259042		

## 4.5 Ensayo de tracción método brasileiro

### 4.5.1 Cilindros con resistencia de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup>, sin polipropileno.

#### Tracción de cilindros método brasileiro

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 240 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0%              Fecha:

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	22/08/2022	22/08/2022	22/08/2022	22/08/2022	22/08/2022
Fecha de ensayo	19/09/2022	19/09/2022	19/09/2022	19/09/2022	19/09/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	150.40	149.62	151.30	157.61	149.24
Diámetro 2 (mm)	149.57	149.65	149.84	156.69	151.97
Altura 1 (mm)	299.59	300.17	298.60	306.10	297.36
Altura 2 (mm)	300.07	299.93	301.79	306.10	298.36
Altura 3 (mm)	300.22	298.94	298.97	306.62	297.53
Masa (Kg)	11.74	11.68	11.58	12.39	11.64
Carga Máxima (kN)	228.98	227.39	227.30	228.92	228.17
Diámetro promedio (mm)	149.99	149.64	150.57	157.15	150.61
Altura promedio (mm)	299.96	299.68	299.79	306.27	297.75
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	17667.92	17585.56	17806.02	19396.29	17814.30
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	33.04	32.92	32.69	30.88	33.03
Resistencia Promedio	32.51				
Desviación Estándar	0.925012775				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	31.23873297				

Tracción de cilindros método brasilero

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 280 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0%              Fecha:

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	27/09/2022	27/09/2022	27/09/2022	27/09/2022	27/09/2022
Fecha de ensayo	25/10/2022	25/10/2022	25/10/2022	25/10/2022	25/10/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	152.55	154.40	150.56	151.74	150.45
Diámetro 2 (mm)	150.81	151.27	152.43	151.31	152.19
Altura 1 (mm)	302.48	302.21	303.00	300.13	298.64
Altura 2 (mm)	300.72	303.25	301.28	301.04	299.10
Altura 3 (mm)	301.30	302.70	302.40	300.70	300.48
Masa (Kg)	11.51	11.81	11.59	11.67	11.65
Carga Máxima (kN)	246.70	248.20	246.10	247.80	246.90
Diámetro promedio (mm)	151.68	152.84	151.50	151.53	151.32
Altura promedio (mm)	301.50	302.72	302.23	300.62	299.41
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	18069.52	18345.75	18025.47	18032.60	17983.84
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	35.02	34.83	34.89	35.31	35.38
Resistencia Promedio	35.09				
Desviación Estándar	0.248220772				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	34.83915161				

**4.5.2 Cilindros con resistencia de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup>, con 0.20 % polipropileno adicionado.**

Tracción de cilindros método brasileiro

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 240 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.2%              Fecha:

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	24/08/2022	24/08/2022	24/08/2022	24/08/2022	24/08/2022
Fecha de ensayo	21/09/2022	21/09/2022	21/09/2022	21/09/2022	21/09/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	149.11	150.61	148.61	147.17	150.02
Diámetro 2 (mm)	151.68	151.98	147.96	148.35	149.58
Altura 1 (mm)	304.01	304.26	299.22	301.75	295.84
Altura 2 (mm)	303.82	303.78	299.04	301.27	295.86
Altura 3 (mm)	303.43	304.42	288.87	301.07	295.44
Masa (Kg)	11.81	11.99	11.36	11.61	11.74
Carga Máxima (kN)	242.40	243.10	242.70	242.90	245.60
Diámetro promedio (mm)	150.40	151.30	148.29	147.76	149.80
Altura promedio (mm)	303.75	304.15	295.71	301.36	295.71
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	17764.65	17977.90	17269.68	17147.61	17624.37
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	34.45	34.29	35.93	35.41	35.99
Resistencia Promedio	35.22				
Desviación Estándar	0.805106011				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	34.32508397				

Tracción de cilindros método brasilero

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 280 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.2%              Fecha:

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	28/09/2022	28/09/2022	28/09/2022	28/09/2022	28/09/2022
Fecha de ensayo	26/10/2022	26/10/2022	26/10/2022	26/10/2022	26/10/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151.50	150.70	150.57	150.35	150.29
Diámetro 2 (mm)	150.09	150.33	153.26	151.97	151.10
Altura 1 (mm)	300.21	300.51	301.46	301.67	301.46
Altura 2 (mm)	300.86	300.12	301.59	302.56	300.00
Altura 3 (mm)	300.13	301.57	302.40	302.70	300.10
Masa (Kg)	11.70	11.58	11.94	12.23	11.68
Carga Máxima (kN)	267.21	266.93	266.63	266.42	266.60
Diámetro promedio (mm)	150.80	150.52	151.92	151.16	150.70
Altura promedio (mm)	300.40	300.73	301.82	302.31	300.52
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	17859.27	17793.01	18125.55	17945.83	17835.59
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	38.29	38.28	37.75	37.85	38.22
Resistencia Promedio	38.08				
Desviación Estándar	0.258595486				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	37.77016507				

**4.5.3 Cilindros con resistencia de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup>, con 0.30 % polipropileno adicionado.**

Tracción de cilindros método brasileiro

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 240 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.3%              Fecha:

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	14/09/2022	14/09/2022	14/09/2022	14/09/2022	14/09/2022
Fecha de ensayo	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	149.69	151.02	150.01	150.44	150.10
Diámetro 2 (mm)	150.10	150.26	151.20	152.56	152.17
Altura 1 (mm)	300.42	300.80	304.40	302.95	302.50
Altura 2 (mm)	300.39	300.12	304.7	302.70	303.70
Altura 3 (mm)	301.30	301.30	303.2	301.75	303.40
Masa (Kg)	12.06	11.68	12.04	12.40	11.99
Carga Máxima (kN)	209.72	209.97	211.41	209.55	210.63
Diámetro promedio (mm)	149.90	150.64	150.61	151.50	151.14
Altura promedio (mm)	300.70	300.74	304.10	302.47	303.20
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	17646.73	17822.58	17814.30	18026.65	17939.90
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	30.20	30.09	29.97	29.69	29.84
Resistencia Promedio	29.96				
Desviación Estándar	0.203458137				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	29.71701488				

Tracción de cilindros método brasilero

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 280 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.3%              Fecha:

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	04/10/2022	04/10/2022	04/10/2022	04/10/2022	04/10/2022
Fecha de ensayo	01/11/2022	01/11/2022	01/11/2022	01/11/2022	01/11/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151.60	152.94	152.32	150.83	149.50
Diámetro 2 (mm)	151.36	152.27	151.71	151.39	151.42
Altura 1 (mm)	300.99	304.82	300.94	301.30	302.43
Altura 2 (mm)	303.77	304.22	301.39	302.50	301.97
Altura 3 (mm)	302.40	304.75	302.00	301.75	302.10
Masa (Kg)	11.81	12.00	11.68	11.68	11.48
Carga Máxima (kN)	230.30	231.40	232.32	232.66	231.44
Diámetro promedio (mm)	151.48	152.61	152.02	151.11	150.46
Altura promedio (mm)	302.39	304.60	301.44	301.85	302.17
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	18021.90	18290.58	18149.42	17933.96	17780.01
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	32.64	32.32	32.91	33.11	33.05
Resistencia Promedio	32.81				
Desviación Estándar	0.328106816				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	32.38137158				

**4.5.4 Cilindros con resistencia de 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup>, con 0.50 % polipropileno adicionado.**

Tracción de cilindros método brasilero

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 240 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.5%              Fecha:

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	15/09/2022	15/09/2022	15/09/2022	15/09/2022	15/09/2022
Fecha de ensayo	13/10/2022	13/10/2022	13/10/2022	13/10/2022	13/10/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	150.20	143.70	149.75	153.15	151.83
Diámetro 2 (mm)	151.17	151.20	150.50	153.20	151.75
Altura 1 (mm)	301.50	303.70	306.16	306.06	307.20
Altura 2 (mm)	301.70	302.40	304.70	307.10	307.40
Altura 3 (mm)	300.95	303.50	305.70	306.40	306.30
Masa (Kg)	12.55	11.73	12.08	12.36	12.30
Carga Máxima (kN)	202.90	203.10	202.50	202.60	201.40
Diámetro promedio (mm)	150.69	147.45	150.13	153.18	151.79
Altura promedio (mm)	301.38	303.20	305.52	306.52	306.97
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	17833.23	17075.74	17700.92	18427.47	18095.73
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	29.00	29.49	28.66	28.01	28.06
Resistencia Promedio	28.65				
Desviación Estándar	0.630032294				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	28.02207974				

Tracción de cilindros método brasilero

Proyecto: Tesis                      Ensayado por: C. Medina - S. Vega  
 F'c esperado: 280 kg/cm<sup>2</sup>      Calculado por: C. Medina - S. Vega  
 Edad: 28 días                      Aprobado por: Ing. Patricio Castro  
 % polipropileno: 0.5%              Fecha:

Muestra	1	2	3	4	5
Fecha de Fabricación	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022	12/10/2022
Fecha de ensayo	09/11/2022	09/11/2022	09/11/2022	09/11/2022	09/11/2022
Días de curación	28	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151.87	149.37	151.93	151.06	150.62
Diámetro 2 (mm)	150.33	149.46	152.11	150.63	149.90
Altura 1 (mm)	302.33	303.86	303.86	303.35	303.10
Altura 2 (mm)	302.42	304.36	303.83	303.54	303.39
Altura 3 (mm)	302.89	304.29	303.84	303.67	303.59
Masa (Kg)	11.67	11.56	11.71	11.65	11.62
Carga Máxima (kN)	218.80	219.12	217.63	217.16	216.91
Diámetro promedio (mm)	151.10	149.42	152.02	150.85	150.26
Altura promedio (mm)	302.55	304.17	303.84	303.52	303.36
Área Promedio (mm <sup>2</sup> )	17931.59	17533.89	18150.61	17871.12	17732.18
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	31.07	31.30	30.59	30.79	30.89
Resistencia Promedio	30.93				
Desviación Estándar	0.271486224				
Resistencia Característica (kg/cm <sup>2</sup> )	30.62736131				

#### 4.6 Módulo de elasticidad

Para el cálculo del módulo de elasticidad nos basaremos en el código ACI y en la NEC\_SE\_HM el cual estipula que, para calcular el módulo elástico del hormigón, se debe usar como dato la resistencia a la compresión del concreto. En general, los módulos de elasticidad se determinan a partir de pruebas a la compresión de cilindros de hormigón.

Y para ello la ACI nos facilita con dos ecuaciones que podemos utilizar:

$$E_c = w_c^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación (4.16)}$$

Para hormigón de peso normal el módulo de elasticidad  $E_c$  se puede considerar como:

$$E_c = 15100 * \sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación (4.17)}$$

Donde:

$E_c$  = módulo de elasticidad del concreto en kgf/cm<sup>2</sup>

$W_c$  = densidad del concreto, kg/m<sup>3</sup>

$f'_c$  = resistencia especificada a la compresión del concreto kgf/cm<sup>2</sup>

Para el cálculo del módulo de elasticidad, considerando que los materiales utilizados en el diseño de hormigón de este trabajo de titulación corresponde a cemento Holcim y de la mina Holcim, ubicada en la parroquia Pifo, Utilizaremos las ecuaciones obtenidas en el trabajo de titulación elaborada por, (Londoño & Terán , 2019) “ *Determinación de la ecuación del módulo de elasticidad del hormigón en la provincia de Pichincha elaborado con materiales de la mina Holcim, ubicada en la parroquia Pifo y cemento Holcim*”.

La cual nos entrega la ecuación del Módulo de Elasticidad Experimental del hormigón fabricado con cemento Holcim y agregados de la mina Holcim ubicada en la parroquia Pifo bajo procedimiento contenido en la norma ASTM C 469:

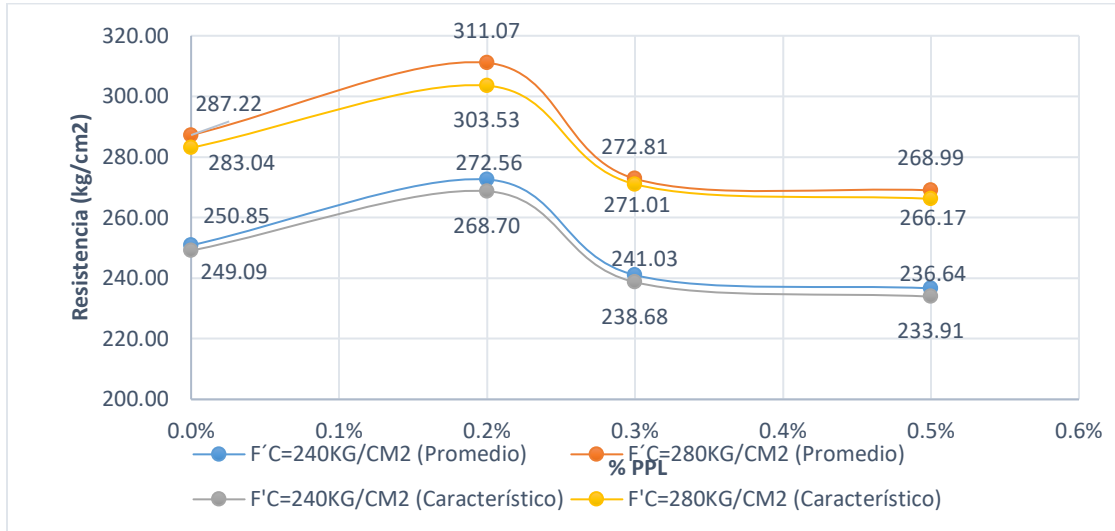
$$E_c = 10043 * \sqrt{f'c} \quad \text{Ecuación (4.18)}$$

<b>Módulo de Elasticidad en Cilindros de Hormigon 240 kg/cm2</b>					
	<b>Cilindros de Hormigón</b>	<b>f'c (promedio) kg/cm2</b>	<b>Ecuaciones de la ACI 318M-02</b>		<b>Tesis Lodoño Domenica y Terán Wilson</b>
			$EC = 15100 * \sqrt{f'c}$	$EC = Wc^{1.5} * 0.14 * \sqrt{f'c}$	$EC = 10043 * \sqrt{f'c}$
<b>240 kg/cm2</b>	240- 0% de Polipropileno	250.85	239155.19	260704.04	159061.96
	240- 0.2% de Polipropileno	272.56	249291.58	271753.76	165803.66
	240- 0.3% de Polipropileno	241.03	234428.64	255551.61	155918.33
	240- 0.5% de Polipropileno	236.64	232283.92	253213.64	154491.88
<b>Módulo de Elasticidad en Cilindros de Hormigon 280 kg/cm2</b>					
<b>280 kg/cm2</b>	280- 0% de Polipropileno	287.22	255908.39	278966.77	170204.50
	280- 0.2% de Polipropileno	311.07	266323.26	290320.06	177131.42
	280- 0.3% de Polipropileno	272.81	249407.05	271879.64	165880.46
	280- 0.5% de Polipropileno	268.99	247651.86	269966.30	164713.09

## 4.7 Resultado de los ensayos de laboratorio

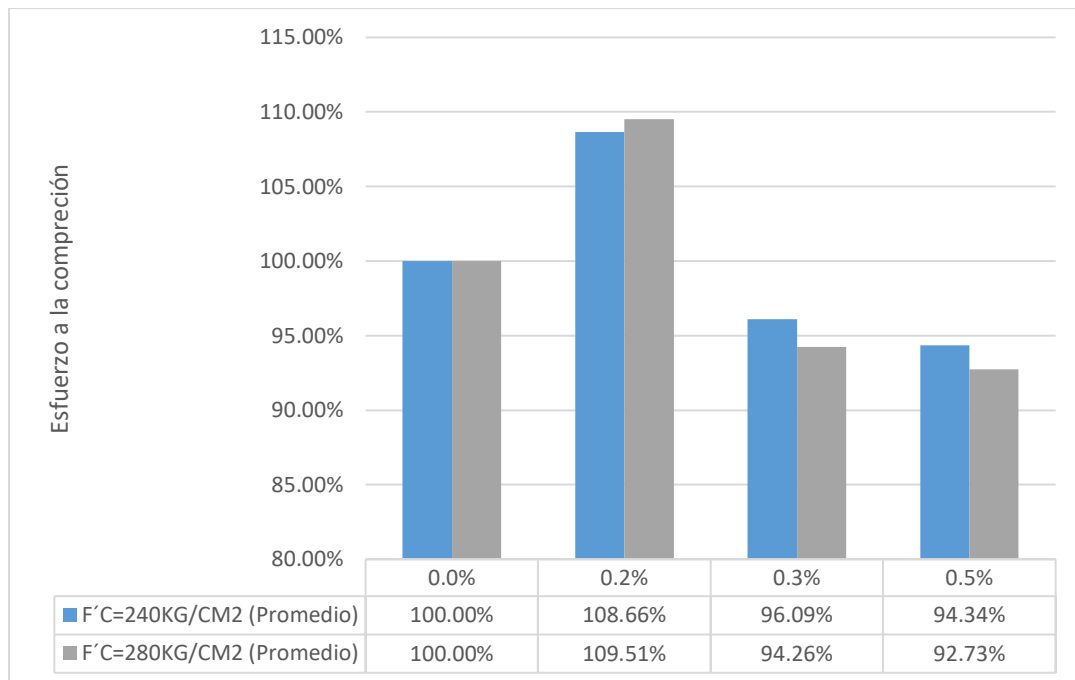
### 4.7.1 Resumen de resultados, resistencia de cilindros a compresión

Gráfica 4.1 Resistencia a la compresión.



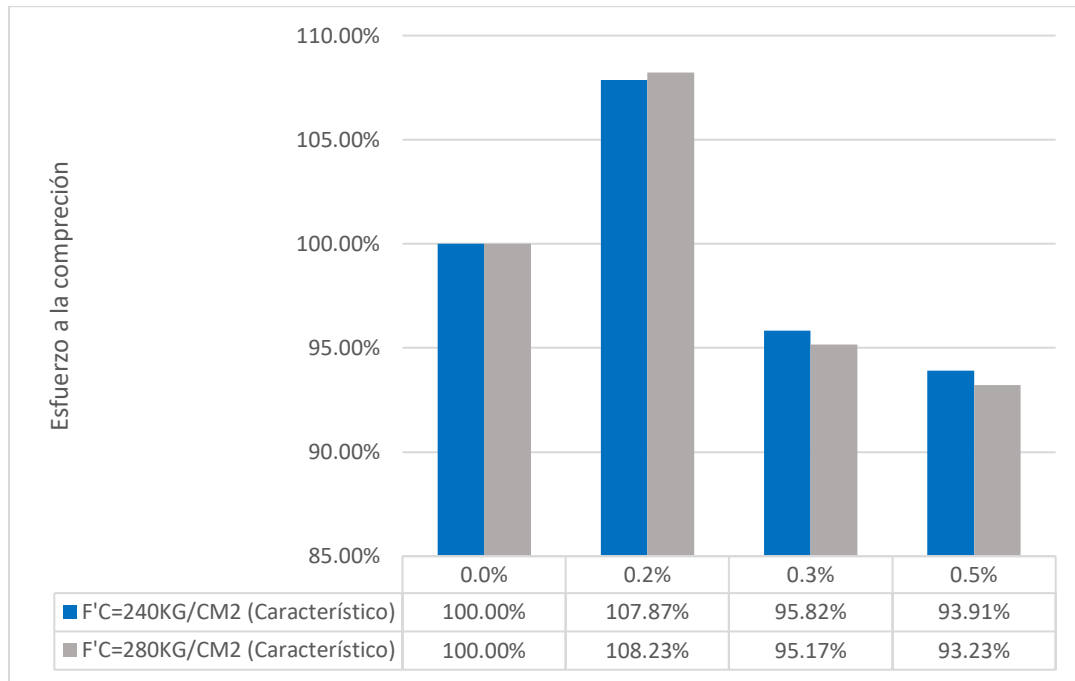
Fuente: Propia

Gráfica 4.2 Pérdida o Ganancia de Resistencia Promedio a la Compresión Según el Porcentaje de PPL.



Fuente: Propia

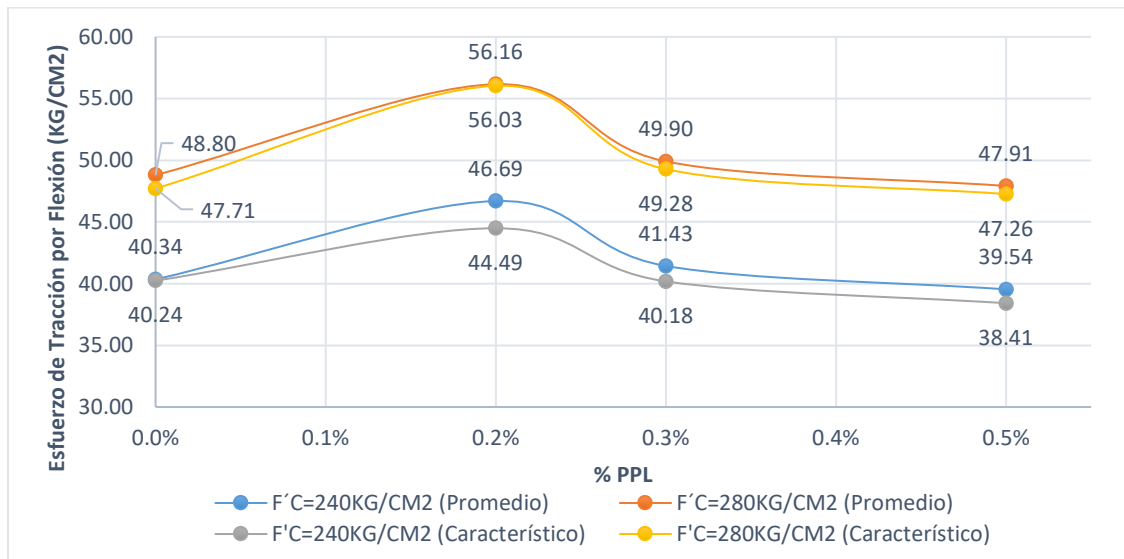
Gráfica 4.3 Pérdida o Ganancia de Resistencia Característica a la Compresión Según el Porcentaje de PPL.



Fuente: Propia

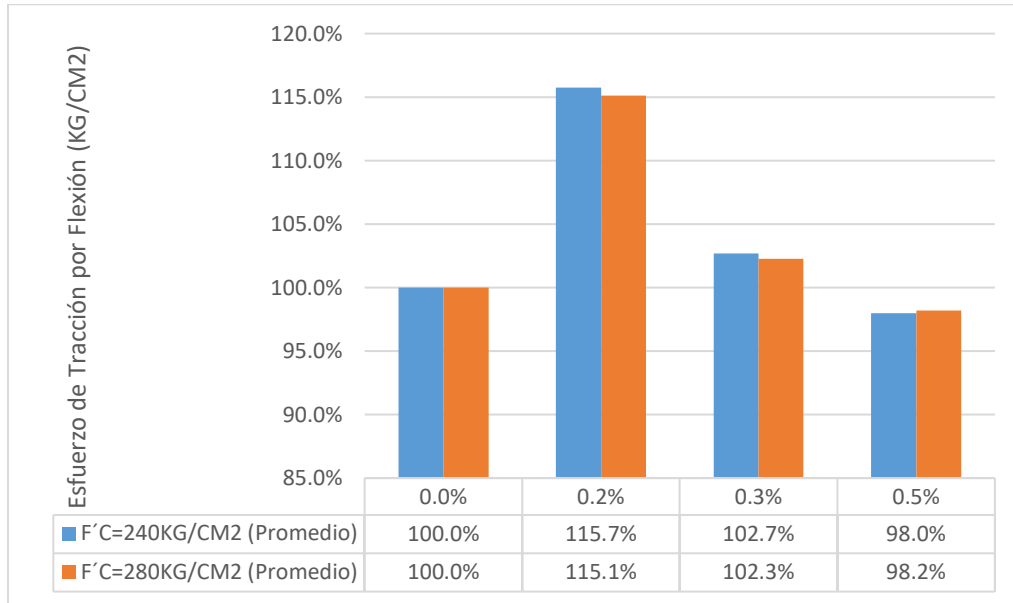
#### 4.7.2 Resumen de resultados, ensayo de flexión de vigas

Gráfica 4.4 Esfuerzo de Tracción por Flexión.



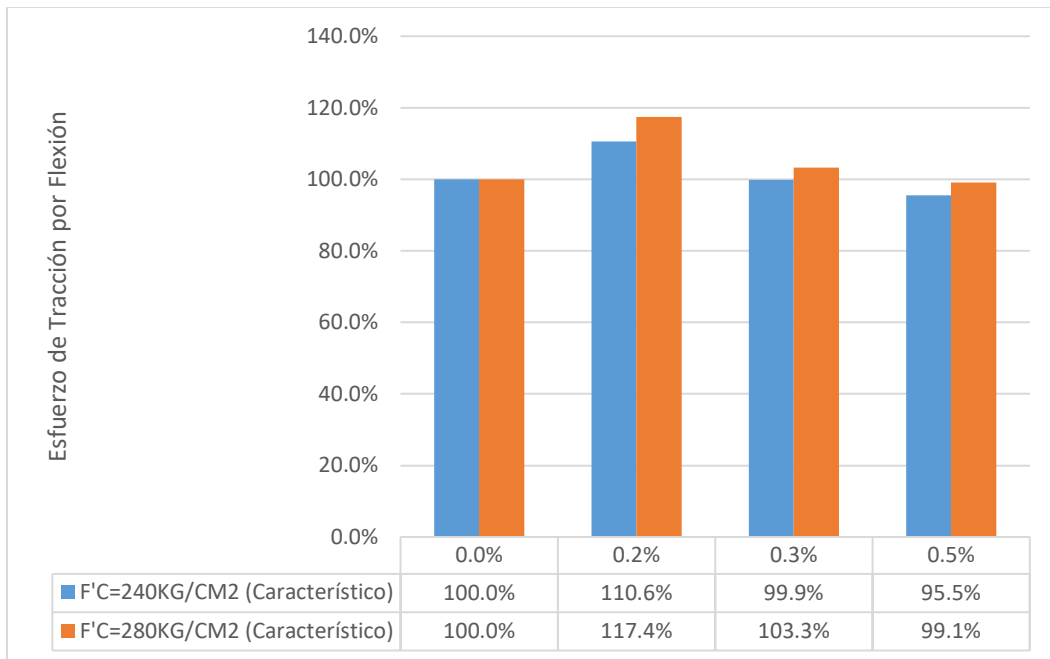
Fuente: Propia

Gráfica 4.5 Pérdida o aumento de Esfuerzo de Tracción por Flexión Promedio Según el Porcentaje de PPL.



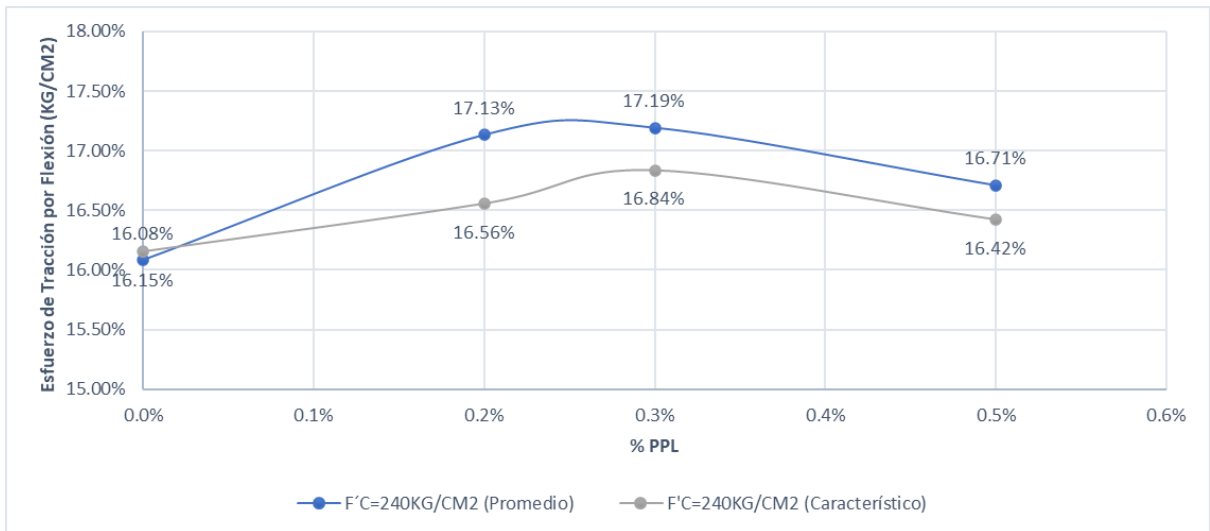
Fuente: Propia

Gráfica 4.6 Pérdida o aumento de Esfuerzo de Tracción por Flexión Característico Según el Porcentaje de PPL.



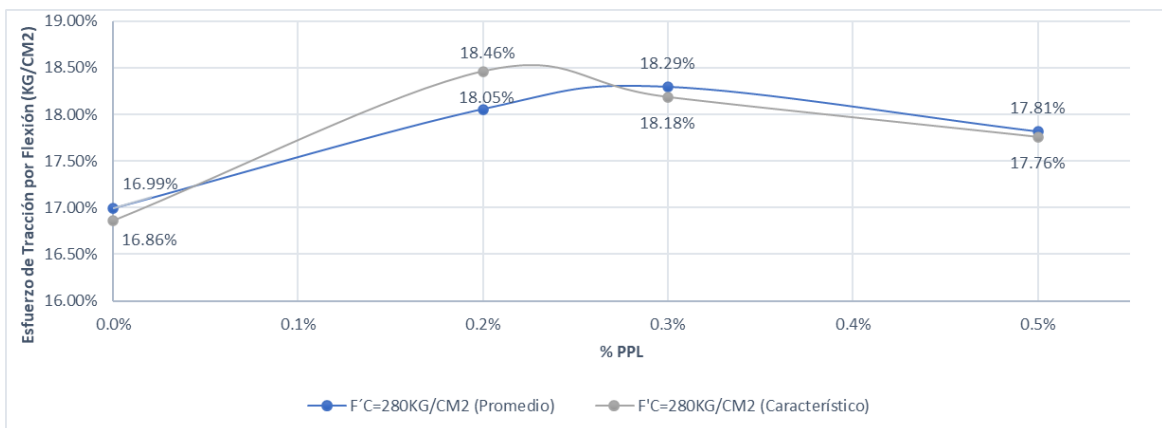
Fuente: Propia

Gráfica 4.7 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Flexión – Esfuerzo a Compresión  $f'c=240\text{kg/cm}^2$ .



Fuente: Propia

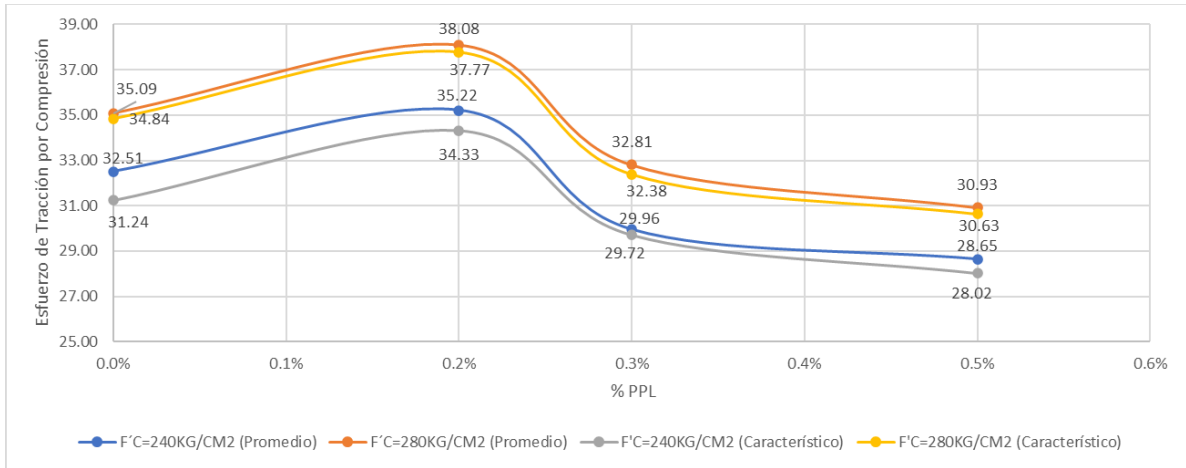
Gráfica 4.8 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Flexión – Esfuerzo a Compresión  $f'c=280\text{kg/cm}^2$ .



Fuente: Propia

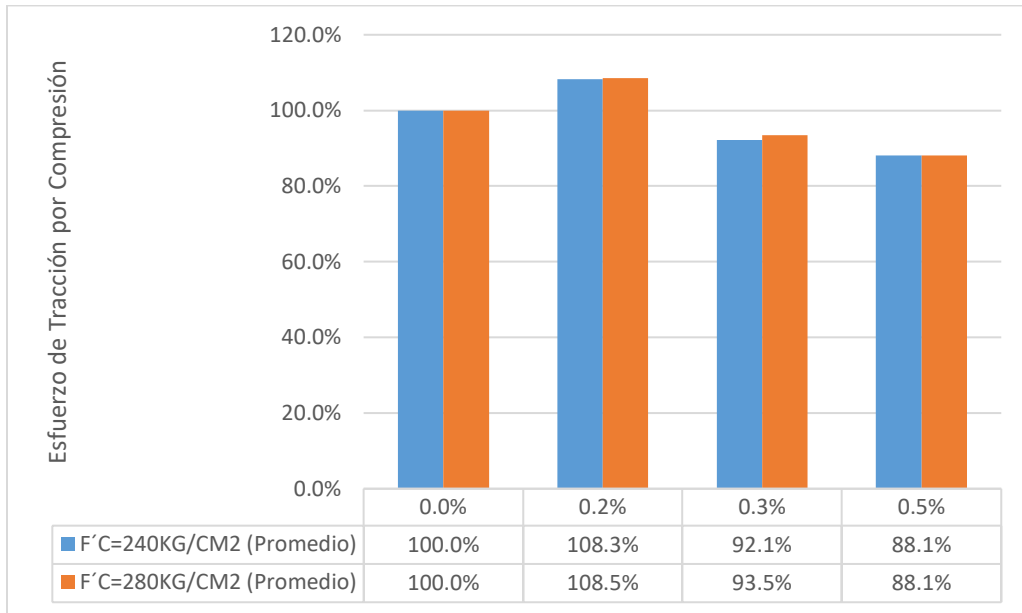
### 4.7.3 Resumen de resultados, ensayo tracción de cilindros.

Gráfica 4.9 Esfuerzo de Tracción por Compresión.



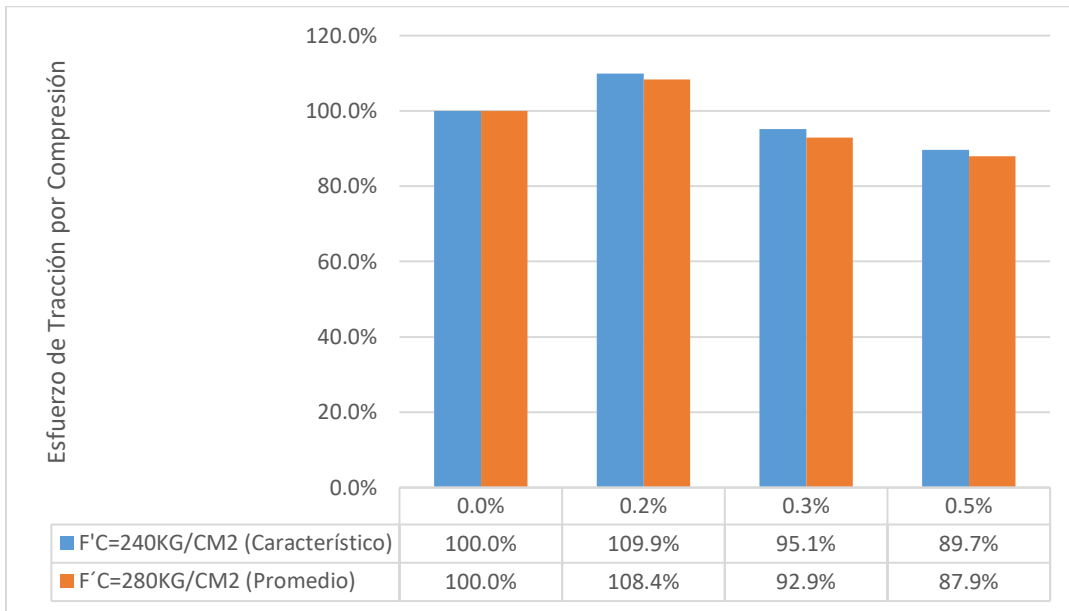
Fuente: Propia

Gráfica 4.10 Pérdida o aumento de Esfuerzo de Tracción por Compresión Promedio Según el Porcentaje de PPL.



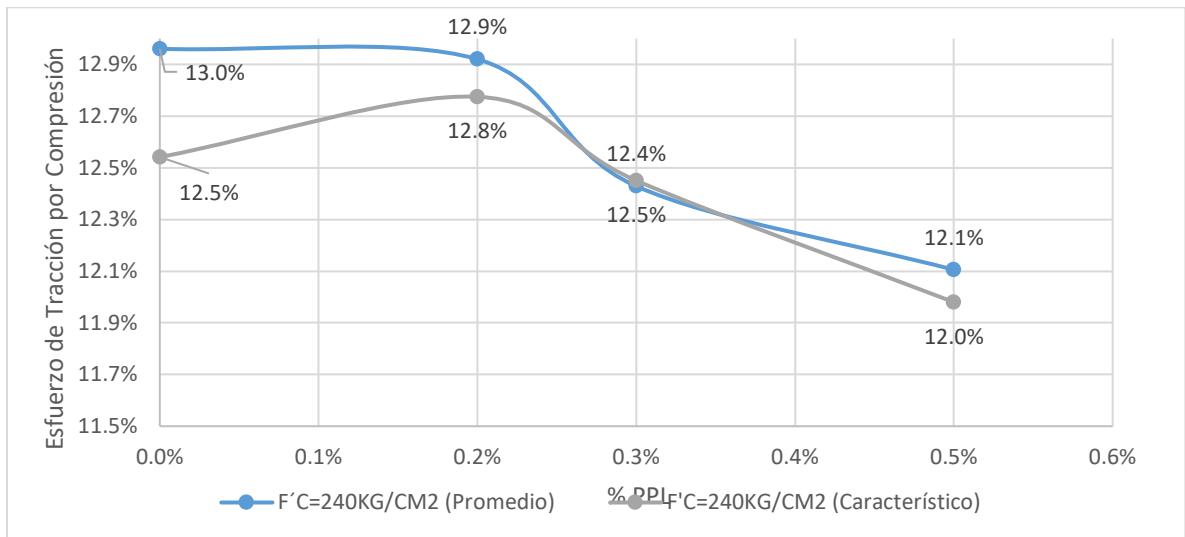
Fuente: Propia

Gráfica 4.11 Pérdida o aumento de Esfuerzo de Tracción por Compresión Característico Según el Porcentaje de PPL.



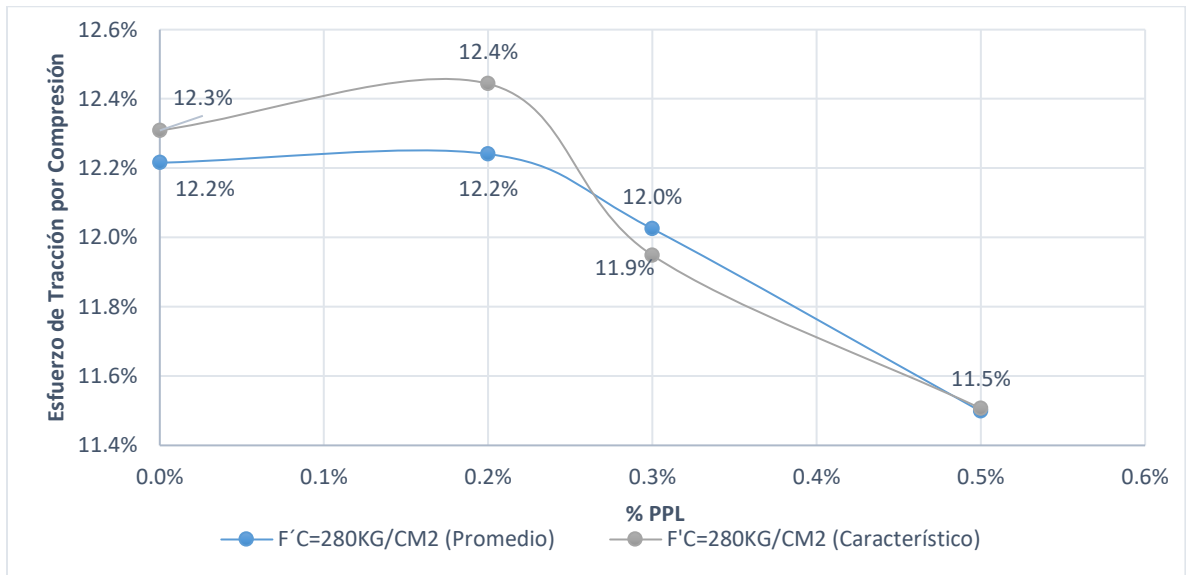
Fuente: Propia

Gráfica 4.12 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Compresión – Esfuerzo a Compresión  $f'_c=240\text{kg/cm}^2$ .



Fuente: Propia

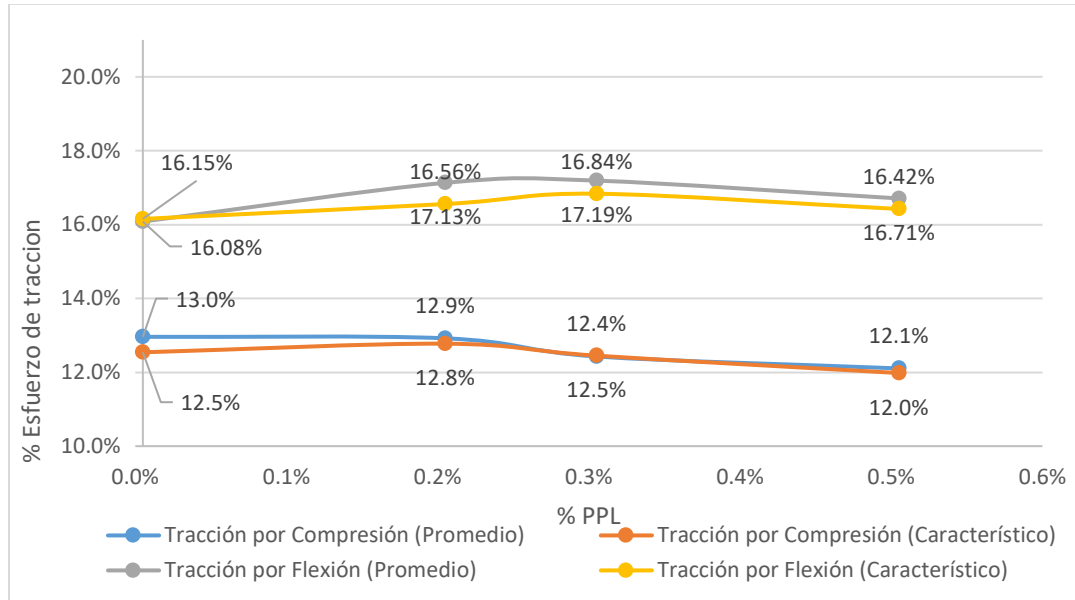
Gráfica 4.13 Grafico comparativo Esfuerzo a Tracción por Compresión – Esfuerzo a Compresión  $f'c=280\text{kg/cm}^2$ .



Fuente: Propia

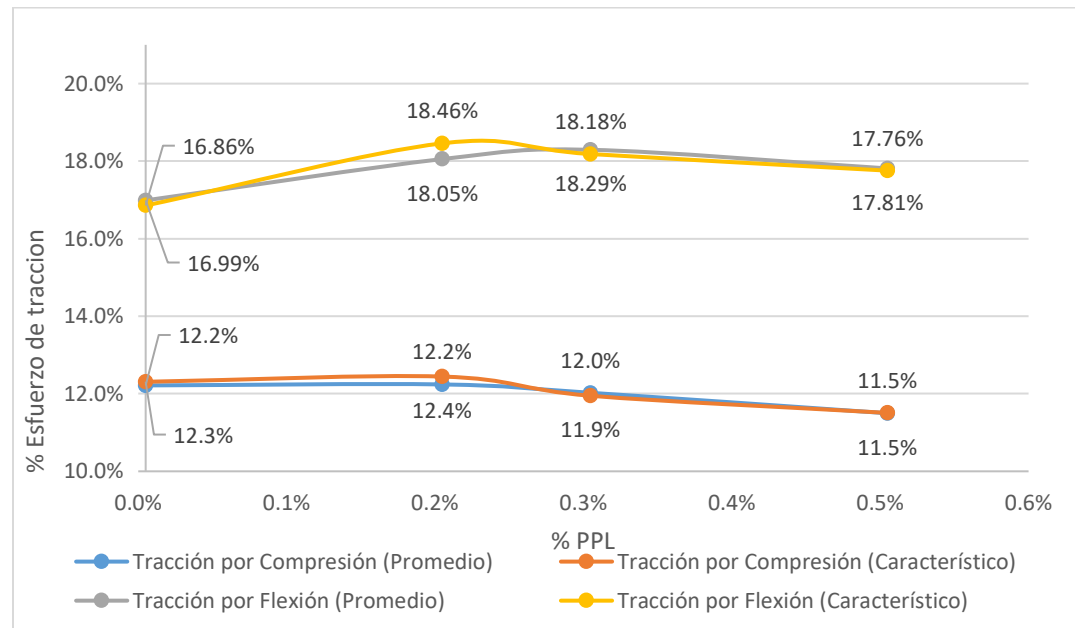
#### 4.7.4 Comparación esfuerzo de Tracción por Compresión - Tracción por Flexión.

Gráfica 4.14 Gráfico comparativo Esfuerzo a Tracción por flexión – Tracción por Compresión  $f'c=240\text{kg/cm}^2$ .



Fuente: Propia

Gráfica 4.15 Gráfico comparativo Esfuerzo a Tracción por flexión – Tracción por Compresión  $f'c=280\text{kg/cm}^2$ .



Fuente: Propia

## CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 Análisis de Resultados

#### 5.1.1 Compresión

Una vez realizados los ensayos de compresión en los cilindros de hormigón de  $f'c = 240$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'c = 280$  kg/cm<sup>2</sup> con distintas concentraciones de fibra de polipropileno que comprenden desde el 0.2% al 0.5%, se logró determinar que el porcentaje de fibra que mejora la resistencia de las muestras considerablemente es de 0,2 % de fibra adicionada, en el cual se presenta un incremento considerable en la resistencia a la compresión del hormigón, además se puede observar que a medida que se incrementa el contenido de fibras la resistencia disminuye como es el caso en donde se aumenta el 0.5% de fibra, ya que la resistencia a la compresión llega a ser menor que a la resistencia que se diseñó.

En la gráfica 4.1 se aprecia que hasta un 0.2% de fibra adicionada la resistencia a la compresión aumenta posterior a este punto su resistencia empieza disminuir siendo así que al adicionar un 0.24% de fibra su resistencia cae por debajo de la dosificación sin fibra adicionada.

Esto se puede evidenciar para ambas dosificaciones, donde su tope máximo llega a ser  $F'c$  promedio = 272.56 kg/cm<sup>2</sup>, para la dosificación de 240 kg/cm<sup>2</sup> y  $F'c$  promedio = 311.07 Kg/cm<sup>2</sup>, para la dosificación de 280 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual evidencia un aumento significativo de resistencia en las muestras ensayadas, comparación con su resistencia diseñada.

El porcentaje óptimo de fibras de polipropileno, determinado por compresión, se encuentra dentro de los límites recomendados por la norma ACI-544.2R63 de (0.2%) y este valor fue el mismo para las diferentes dosificaciones reportadas en el estudio.

Como se puede evidenciar en la gráfica 4.2 la pérdida o ganancia de la comprensión según el porcentaje de polipropileno, para ambas dosificaciones en el 0.2% del PP adicionado existe un aumento de 8.66 % para la de 240 kg/cm<sup>2</sup> y de 9.51% para la de 280 kg/cm<sup>2</sup> con relación a dosificación diseñada. Mientras que para el 0.3% y 0.5% de fibra adiciona existe una disminución evidenciable de 3.91% y 5.66% para la de 240kg/cm<sup>2</sup>, mientras que para la de 280 kg/cm<sup>2</sup> existe una disminución de 5.74% y 7.27% respectivamente.

Mientras que para la gráfica 4.3 existe la misma tendencia que la gráfica 4.2 ya que los valores son similares pero la diferencia es que una está con  $f'_c$  (promedio) y la otra esta con el  $f'_c$  (característico), cabe recalcar que la resistencia característica (que es la resistencia de diseño de una estructura) es una resistencia que conlleva un factor de seguridad respecto a la fabricación del hormigón en obra, ya que intenta garantizar que el hormigón en obra será casi en su totalidad más resistente que el hormigón del diseño en papel.

### **5.1.2 Flexión**

Concluidos los ensayos de flexión en las vigas de hormigón de  $f'_c = 240$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f'_c = 280$  kg/cm<sup>2</sup> con distintas concentraciones de fibra de polipropileno se determinó que el porcentaje de fibra que mejoras sus características es aproximadamente 0,2%, siendo igual a los ensayos de compresión y tracción antes realizados, además se puede observar que a medida que incrementa la concentración de fibra aumenta la resistencia a la flexión del hormigón debido a la contribución de las fibras. El porcentaje de fibra de polipropileno en flexión determinado se encuentra dentro de los límites recomendados por la norma ACI-544.2R65.

En la Grafica 4.4 podemos observar la variación de los esfuerzos de tracción a  $y$  como está va variando de acuerdo al porcentaje de fibra de polipropileno añadido, en esta grafico podemos

notar que hasta valores de un 0.2% de polipropileno se llega a obtener beneficios en la resistencia a la compresión llegando está a aumentar Significativamente su resistencia a la tracción por flexión.

El valor máximo observable en la gráfica 4.4 se encontraría cuando tenemos un 0.23% de fibra de polipropileno añadida, después de este valor la resistencia a la tracción por flexión empieza a disminuir abruptamente hasta que tengamos un 0.3% de Fibra y finalmente al tener un 0.5% de fibra de polipropileno la resistencia se hace menor que al tener un 0% de fibra.

Se obtuvo una resistencia a la tracción por flexión promedio de 48.8 (kg/cm<sup>2</sup>) sin fibra añadida para la dosificación de  $f'c= 280$  (kg/cm<sup>2</sup>) y 40.43 (kg/cm<sup>2</sup>) para la dosificación  $f'c= 240$  (kg/cm<sup>2</sup>).

Para la dosificación de  $f'c= 280$  (kg/cm<sup>2</sup>) se obtuvo un aumento de 7.37 (kg/cm<sup>2</sup>) y para la dosificación de  $f'c= 240$  (kg/cm<sup>2</sup>) se obtuvo un aumento de 6.35 (kg/cm<sup>2</sup>).

En la gráfica 4.6 podemos observar cómo mejoro o empeoro la resistencia a la tracción por flexión tanto para dosificaciones de 240 (kg/cm<sup>2</sup>) y 280 (kg/cm<sup>2</sup>) obteniendo una mejora en la resistencia hasta al 0.3% de fibra añadida, se obtuvo la la mayor mejora al 0.2% siendo esta superior al 15% de aumento a la resistencia para ambas dosificaciones. Al adicionar un 0.5% de fibra la resistencia a la tracción por flexión disminuye en un 2 % para ambas dosificaciones.

En la gráfica 4.7 y 4.8 se observa que el porcentaje que representa la resistencia a tracción por flexión respecto a la resistencia a la compresión obtenida para cada porcentaje de fibra adicionada siendo así que al tener la dosificación de 240 (kg/cm<sup>2</sup>) representa el 16% de su resistencia a la compresión y en la dosificación de 280 (kg/cm<sup>2</sup>) esta representa el 17%.

En la gráfica 4.7 se observa que el mejor resultado se encuentra en el 0.25% de fibra representando está el 17.25% respecto a su esfuerzo a compresión, mientras que en la gráfica 10 se observa que el mejor resultado se encuentra en el 0.28% de fibra representando está el 18.3% respecto a su esfuerzo a compresión.

Tanto en la gráfica 4.4 como en la gráfica 4.5 se nota que la línea de la resistencia característica no sigue la misma tendencia que la línea de resistencia promedio esto es debido a que al no tener una gran cantidad de ensayos realizados el obtener la resistencia característica no es posible de una manera asertiva por lo cual se utilizó un método estadístico para obtenerlo de manera aproximada.

### **5.1.3 Tracción**

Por último, una vez concluidos los ensayos de tracción indirecta (método brasileño) en los cilindros de hormigón de  $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$  con distintos porcentajes de fibra de polipropileno se determinó que el porcentaje de fibra que mejora las características del hormigón es de 0,2 %, en donde se presenta un incremento considerable en la resistencia a tracción del hormigón y a partir de este punto empieza a decaer según aumenta la concentración de fibra. A su vez el porcentaje de fibra de polipropileno en tracción determinado se encuentra dentro de los límites recomendados por la norma ACI-544.2R65.

Podemos evidenciar que de igual manera que los ensayos de compresión y flexión existe una tendencia muy marcada, la cual se evidencia que existe un aumento significativo de la resistencia, cuando se tiene un 0.2% de fibra adicionada en las dosificaciones, para este caso la resistencia máxima obtenía a la flexión para las muestras de  $204 \text{ kg/cm}^2$  es de  $35.22 \text{ kg/cm}^2$  y para la de  $280 \text{ kg/cm}^2$  es de  $38.08 \text{ kg/cm}^2$ .

Mientras que para valores de 0.3 % y 0.5% de fibra adicionada existe una disminución con relación a la resistencia esperada diseñada, como se puede observar a media que se supera el límite recomendado por el ACI de (0.2%), existe una decaída de resistencia que aumenta de 0.3% al 0.5% de fibra adicionada, siendo 29.96 kg/cm<sup>2</sup> y 28.65 kg/cm<sup>2</sup> para la dosificación de 240 kg/cm<sup>2</sup> y 32.81 kg/cm<sup>2</sup> y 30.93 kg/cm<sup>2</sup> para la de 280 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

En la gráfica 4.9 se observa los resultados obtenidos al realizar el ensayo de tracción indirecta por el método brasilero, el grafica se aprecia que hasta un 0.2% de fibra adicionada la resistencia a la tracción por compresión aumenta posterior a este punto su resistencia empieza disminuir siendo así que al adicionar un 0.26% de fibra su resistencia cae por debajo de la dosificación sin fibra adicionada.

En las gráficas 4.10 y 4.11 podemos observar si existe una pérdida o un aumento del esfuerzo de tracción por compresión promedio y característico según el porcentaje del PP. En ambas tablas se pude ver que existe un aumento de resistencia por parte de las muestras ensayadas con un 0.2% de fibra adicionada, ya que para la resistencia promedio para la dosificación de 240 kg/cm<sup>2</sup> tiene un incremento de 8.3 % con respecto a la resistencia diseñada, mientras que la de 280 kg/cm<sup>2</sup> alcanza un aumento de 8.5 % con respecto a la resistencia diseñada.

Asu vez la resistencia característica tiene un aumento de 9.9% y de 8.4% para las dosificaciones de 240 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. En ambas graficas también se puede evidenciar el porcentaje que disminuye la resistencia conforme se añade las fibras hasta llegar al 0.5 % de fibra adicionada donde el valor es menor a la resistencia diseñada.

En las tablas 4.12 y 4.13 se puede observar un gráfico comparativo entre el ensayo de tracción por compresión y el ensayo de compresión simple obtenida para cada porcentaje de fibra

adicionada siendo así que al tener la dosificación de 240 (kg/cm<sup>2</sup>) representa el 12.9% de su resistencia a la compresión y en la dosificación de 280 (kg/cm<sup>2</sup>) esta representa el 12.2%%, en esta grafica de igual manera se observa que los valores hasta un 0.2% se mantienen y a partir de este punto empiezan a disminuir.

En la gráfica 4.12 se observa que el mejor resultado se encuentra en el (0.18%-0.2%) de fibra representando está el 12.9% respecto a su esfuerzo a compresión, mientras que en la gráfica 15 se observa que el mejor resultado se encuentra en el 0.18% de fibra representando está el 12.5% respecto a su esfuerzo a compresión.

En las gráficas 4.14 y 4.15 se observa el comportamiento de los esfuerzos de tracción por compresión y por flexión con respecto a sus resultados por esfuerzos a compresión simple en estas graficas se observa como mejoran los resultados para los ensayos de tracción por flexión mientras que los resultados para tracción por compresión se mantienen constantes hasta cuando tenemos un 0.2% de fibra después de este punto la resistencia empieza a decaer.

## **CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Conclusiones generales**

- La mejora de la resistencia a flexión se da inmediatamente se agrega la fibra hasta un 0.22% en donde se encuentra su máxima mejora después de este punto empieza a decaer su resistencia y al aumentar un 0.38% de fibra a la mezcla su resistencia cae por debajo de la resistencia sin fibra adicionada.
- Al utilizar porcentajes de fibra superiores al 0.25%, los agregados de la mezcla empiezan a perder adherencia ocasionando una disminución en la resistencia a la compresión, tracción por flexión y tracción por compresión
- El ensayo donde se observó una mejora de la resistencia a la tracción fue en el ensayo de flexión de viguetas aumentando su resistencia hasta en un 15.7%. Esto se puede atribuir a la forma en que actúa la fibra al mezclarse el hormigón ya que por la disposición en que se encuentran las fibras evita que se tenga una falla frágil y esta se transforme en una falla menos frágil.
- Vemos que se mejora el desempeño al añadir un 0.2% de fibra de polipropileno a la mezcla obteniendo una mejora de un 15.7% para hormigones de  $f'c=240$  (kg/cm<sup>2</sup>) y una mejora del 15.1% para hormigones de  $f'c=280$  (kg/cm<sup>2</sup>). Referencia graficas 4.5 y 4.6
- Podemos observar cómo mejora su resistencia a la tracción por flexión con relación a el esfuerzo a compresión obtenido de esa misma dosificación aquí encontramos la máxima mejora al añadir 0.25% de fibra a la mezcla y empieza a descender desde este

punto pero hasta el 0.5% de fibra añadida sigue sin caer por debajo de la dosificación sin fibra, lo mismo ocurre en el grafico 10 en el cual su máximo se encuentra en el 0.28% de fibra adicionada y se obtiene un esfuerzo a tracción por flexión representativo del 18.30% con respecto a su esfuerzo a compresión. Referencia grafico 4.7

- Como conclusión en la comparación de flexión por compresión vs flexión por tracción, se puede determinar que tanto para la dosificación de 240 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup> en el esfuerzo de tracción por compresión llega a su máximo al 0.2% de fibra adicionada y después de eso comienza a decrecer hasta llegar al 0.5% de fibra adicionada donde su valor es menor que la resistencia diseñada. A su vez en el caso de la tracción por flexión podemos determinar que el esfuerzo de tracción llega a su tope para ambas dosificaciones al 0.3% de fibra adicionada y tiende a decrecer después de ese valor, esto se da porque hormigón al ser un material isotrópico tiende a tener propiedades diferentes dependiendo de donde se aplique una fuerza y también influye la manera en la que colocaron las fibras ya que en ciertas partes de la muestra pude a ver más porcentaje de fibras que en otras. Referencia graficas 4.14 y 4.15
- En los anexos se observa cómo cambia la falla mientras se añade más fibra y notamos que a mayor porcentaje de fibra la falla se vuelve menos frágil ya que a diferencia de las dosificaciones sin fibra esta no es explosiva, ya que a medida que aumenta el porcentaje de fibra la falla se vuelve menos visible a un mismo valor de carga, esto se pudo observar en todos los ensayos tanto de compresión simple, brasilero y en flexión de viguetas.
- En los ensayos de tracción indirecta con los cilindros con contenido de fibra de polipropileno por el método brasilero se observa que la falla no cruza por la mitad del

cilindro como sucede en los cilindros sin fibra esto se debe a la distribución no uniforme de las fibras en la mezcla. Ver anexos

- Se observó en los ensayos realizados que la fibra actúa como una malla que mantiene unido al hormigón a pesar de haber fallado permitiéndolo actuar como un solo elemento.
- Durante la inclusión de fibra de polipropileno en el hormigón se observó que influye en la trabajabilidad de la mezcla y en su consistencia a través de la disminución de su asentamiento para cada dosificación (ver en anexos). Este fenómeno se produce porque las fibras crean una mayor cohesión entre las partículas de hormigón, haciéndolas más resistentes a la segregación, este efecto de unión es más pronunciado cuanto mayor es el contenido de fibra aplicado.

## **6.2 Recomendaciones generales**

- El uso de las fibras de polipropileno puede llegar a ser muy ventajoso en morteros y en pavimentos de hormigón ya que por la forma en que actúa la fibra al ser adicionada en la mezcla de hormigón logra que esta se mantenga unida como un solo cuerpo, disminuye su fisuración y agrietamiento
- Se recomienda añadir porcentajes hasta el 0.23% de fibra de polipropileno a las mezclas de hormigón ya que hasta este punto la mezcla mejora sus capacidades mecánicas tanto de resistencia a la compresión, tracción por flexión y tracción por compresión.
- Al realizar mezclas en la cual se vaya a añadir fibra de polipropileno se recomienda que en el diseño de la mezcla de hormigón se procure realizar una mezcla bastante fluida al menos un asentamiento de 12 cm ya que a medida que se aumenta el porcentaje

de fibra su manejabilidad disminuye drásticamente esto por la forma de actuar de la fibra la cual logra mantener a toda la mezcla junta reduciendo así la fluidez de la mezcla de hormigón fresco.

- En caso de utilizar altos porcentajes de fibra se recomienda utilizar fluidificantes para mantener la manejabilidad de la mezcla
- Se debe continuar con los estudios al adicionar fibras en las mezclas de hormigón ya que como se comprobó en los resultados obtenidos si se obtiene buenos resultados en la mejora de sus propiedades mecánicas y es especialmente importante recalcar que el hormigón a pesar de ser un material frágil al incluir fibra esta se volvió menos frágil por lo cual es importante ver su comportamiento al deformarse y como esta nueva mezcla absorbe la energía.

### 6.3 Bibliografía

León , M. P., & Ramirez, F. (2010). *Caracterización morfológica de agregados para concreto*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

(13 de Octubre de 2010). Obtenido de <https://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/expansion-del-cemento.html>

ACI Anstitute, A. C. (2002). *ACI Committee 544. State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete 544.1R-42*. Michigan, USA: American Concrete Institute.

Alaya, E. C. (6 de Diciembre de 2020). *linkedin.com*. Obtenido de [linkedin.com](https://es.linkedin.com/pulse/factores-que-influyen-la-permeabilidad-del-concreto-salda%C3%B1a-alaya): <https://es.linkedin.com/pulse/factores-que-influyen-la-permeabilidad-del-concreto-salda%C3%B1a-alaya>

ALEGRE, S. (1984). *Permeabilidad del hormigón a los gases*. Barcelona: CABI, S. A.

Angel. (26 de Diciembre de 2014). *Mas Que Ingenieria*. Obtenido de [masqueingenieria.com](https://masqueingenieria.com): <https://masqueingenieria.com/blog/ensayos-a-traccion-indirecta-del-hormigon/>

BOWLES, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos*. México DF: Mc Graw - Hill.

Calleja, D. J. (Marzo de 1971). Obtenido de <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/download/1521/1812>.

CAÑAS, J. S. (2003). Obtenido de [uca.edu.sv](https://www.uca.edu.sv): <https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoAgregados/PESOS%20UNITARIOS%20Y%20%25%20VACIOS.pdf>

Castro, C. C. (02 de Noviembre de 2014). *Slide Share*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/>: <https://es.slideshare.net/cguerrerocastro/resistencia-practica-6>

*Cementos Tequendama*. (16 de Marzo de 2021). Obtenido de [cetesa.com](https://cetesa.com): <https://cetesa.com.co/blog/metodo-para-determinar-la-consistencia-normal-del->



- HOLCIM. (10 de Noviembre de 2016). Obtenido de camicon.ec: <https://www.camicon.ec/wp-content/uploads/2015/11/EVOLUCI%C3%93N-DE-LAS-NORMAS-Y-CONTROL-DE-CALIDAD.pdf>
- IECA. (2017). Obtenido de ieca.es: <https://www.ieca.es/componentes-y-propiedades-del-cemento/>
- International, ASTM. (2014). *ASTM C-33. Especificación Normalizada para agregados en el concreto*. West Conshohocken: Annual Book of ASTM Stand.
- International, ASTM. (2015). *ASTM C-1116, Standard Specification for Fiber Reinforced Concrete and Shorcrete*. West Conshohocken: Annual Book of ASTM Stand.
- Londoño, D., & Terán, W. (2019). *Determinación de la ecuación del módulo de elasticidad del hormigón en la provincia de Pichincha elaborado con materiales de la mina Holcim, ubicada en la parroquia Pifo y cemento Holcim*. Quito: FACULTAD DE INGENIERÍA- ESCUELA DE CIVIL DE LA PUCE.
- Mariano. (Jueves de Junio de 2011). *blogspot.com*. Obtenido de [blogspot.com](https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polipropileno.html#:~:text=El%20polipropileno%20se%20puede%20hacer,por%20polimerizaci%C3%B3n%20catalizada%20por%20metalocenos.&text=Los%20pol%C3%ADmeros%20vin%C3%ADlicos%20son%20pol%C3%ADmeros,contenie): <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polipropileno.html#:~:text=El%20polipropileno%20se%20puede%20hacer,por%20polimerizaci%C3%B3n%20catalizada%20por%20metalocenos.&text=Los%20pol%C3%ADmeros%20vin%C3%ADlicos%20son%20pol%C3%ADmeros,contenie>
- Medina, F., & Cifuentes, H. (2007). *ResearchGate*. Recuperado el 6 de Noviembre de 2021, de [researchgate.net/](https://www.researchgate.net/profile/Hector-Cifuentes-2/publication/238753525_HORMIGON_REFORZADO_CON_FIBRAS_DE_POLIPROPILENO_INFLUENCIA_DE_LA_DUCTILIDAD_DE_LA_FIBRA_SOBRE_LA_FRAGILIDAD_Y_EL_EFECTO_TAMANO/links/53f708030cf2888a749765f9/HORMIGON-REFORZADO-C): [https://www.researchgate.net/profile/Hector-Cifuentes-2/publication/238753525\\_HORMIGON\\_REFORZADO\\_CON\\_FIBRAS\\_DE\\_POLIPROPILENO\\_INFLUENCIA\\_DE\\_LA\\_DUCTILIDAD\\_DE\\_LA\\_FIBRA\\_SOBRE\\_LA\\_FRAGILIDAD\\_Y\\_EL\\_EFECTO\\_TAMANO/links/53f708030cf2888a749765f9/HORMIGON-REFORZADO-C](https://www.researchgate.net/profile/Hector-Cifuentes-2/publication/238753525_HORMIGON_REFORZADO_CON_FIBRAS_DE_POLIPROPILENO_INFLUENCIA_DE_LA_DUCTILIDAD_DE_LA_FIBRA_SOBRE_LA_FRAGILIDAD_Y_EL_EFECTO_TAMANO/links/53f708030cf2888a749765f9/HORMIGON-REFORZADO-C)
- Montenegro, K. S. (2019). Obtenido de [https://www.academia.edu/8844892/ABRASI%C3%93N\\_Se\\_define\\_a](https://www.academia.edu/8844892/ABRASI%C3%93N_Se_define_a)
- Neville, A. M. (2013). *Tecnología del Concreto*. México DF: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. .

NTE INEN 1573. (2010). *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO.* . Quito - Ecuador: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA.

NTE INEN 2554 . (2011). *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN. (UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS).* Quito - Ecuador: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA.

NTE INEN 2648. (2013). *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN.* Quito - Ecuador: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA .

Pina, E., & Sémelas, G. (24 de Agosto de 2018). *www.concretonline.com*. Obtenido de [www.concretonline.com: https://www.concretonline.com/hormigon/empleo-y-aplicaciones-de-hormigones-reforzados-con-fibras-sinteticas-estructurales](https://www.concretonline.com/hormigon/empleo-y-aplicaciones-de-hormigones-reforzados-con-fibras-sinteticas-estructurales)

PSI CONCRETO. (26 de Junio de 2020). *psiconcreto.com*. Obtenido de [psiconcreto.com: https://psiconcreto.com/english/fibra-de-polipropileno/](https://psiconcreto.com/english/fibra-de-polipropileno/)

Robas, A. H. (s.f.). Obtenido de [upcommons.upc.edu: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8508/00.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8508/00.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rocha, S. (23 de Junio de 2022). *construaprende.com*. Obtenido de <https://www.construaprende.com/docs/lab/330-practica-resistencia-abrasion-agregados>

TEX DELTA. (4 de Octubre de 2020). *texdelta.com*. Obtenido de <https://texdelta.com/blog/aplicaciones-y-ventajas-del-uso-de-fibras-de-polipropileno/>

UCA. (s.f.). Obtenido de <https://www.uca.edu.sv/mecanica-estructural/materias/materialesCostruccion/guiasLab/ensayoCemento/Fraguado%20inicial%20y%20final%20del%20cemento.pdf>

VILLARREAL GARCÍA, G. A., & TORO TIPÁN, E. A. (2019). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN ALIVIANADO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO CON RELACION A UN HORMIGÓN DE PESO NORMAL*. Quito: FACULTAD DE INGENIERÍA-ESCUELA DE CIVIL DE LA PUCE.

YÁÑEZ, Y. K. (2017). *Repositorio academico de la universidad de Chile*. Recuperado el 07 de Noviembre de 2021, de repositorio.uchile.cl: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/148537/Evaluacion-de-parametros-incidentes-en-la-respuesta-post-agrietamiento-del-hormigon-proyectado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## 6.4 Anexos



*Anexo 1 Fibras de Polipropileno*



*Anexo 2 Hormigón fresco con fibras de polipropileno*



*Anexo 3 Preparación ensayo de compresión*

## **Asentamientos**

Hormigón simple 240 Kg/cm<sup>2</sup>

Porcentaje de Polipropileno = 0%

Asentamiento= 7 cm



*Anexo 4 Asentamiento Hormigón simple 240 Kg/cm<sup>2</sup>, PPL 0%*

Hormigón simple 240 Kg/cm<sup>2</sup>  
Porcentaje de Polipropileno = 0.2%  
Asentamiento= 6 cm



*Anexo 5 Asentamiento Hormigón simple 240 Kg/cm<sup>2</sup>, PPL 0.2%*

Hormigón simple 240 Kg/cm<sup>2</sup>  
Porcentaje de Polipropileno = 0.3%  
Asentamiento= 4 cm



*Anexo 6 Asentamiento Hormigón simple 240 Kg/cm<sup>2</sup>, PPL 0.3%*

Hormigón simple 240 Kg/cm<sup>2</sup>  
Porcentaje de Polipropileno = 0.5%  
Asentamiento= 2.5 cm



*Anexo 7 Asentamiento Hormigón simple 240 Kg/cm<sup>2</sup>, PPL 0.5%*

Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>  
Porcentaje de Polipropileno = 0.0%  
Asentamiento= 10 cm



*Anexo 8 Asentamiento Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>, PPL 0%*

Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>  
Porcentaje de Polipropileno = 0.2%  
Asentamiento= 6 cm



*Anexo 9 Asentamiento Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>, PPL 0.2%*

Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>  
Porcentaje de Polipropileno = 0.3%  
Asentamiento= 4.5 cm



*Anexo 10 Asentamiento Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>, PPL 0.3%*

Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>  
Porcentaje de Polipropileno = 0.5%  
Asentamiento= 3 cm



*Anexo 11 Asentamiento Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>, PPL 0.5%*

## Ensayos

Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>

Porcentaje de Polipropileno = 0 %

Ensayo Brasilero



*Anexo 12 Ensayo Brasilero, Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>, PPL 0%*

Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>

Porcentaje de Polipropileno = 0.2 %

Ensayo Brasilero



*Anexo 13 Ensayo Brasilero, Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>, PPL 0.2%*

Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>  
Porcentaje de Polipropileno = 0.3 %  
Ensayo Brasilerero



*Anexo 14 Ensayo Brasilerero, Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>, PPL 0.3%*

Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>  
Porcentaje de Polipropileno = 0.5 %  
Ensayo Brasilerero



*Anexo 15 Ensayo Brasilerero, Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>, PPL 0.5%*

Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>  
Porcentaje de Polipropileno = 0 %  
Ensayo de flexión



*Anexo 16 Ensayo de flexión, Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>, PPL 0%*

Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>  
Porcentaje de Polipropileno = 0.3 %  
Ensayo de flexión



*Anexo 17 Ensayo de flexión, Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>, PPL 0.3%*

Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>  
Porcentaje de Polipropileno = 0.5 %  
Ensayo de flexión



*Anexo 18 Ensayo de flexión, Hormigón simple 280 Kg/cm<sup>2</sup>, PPL 0.5%*