

# I ANTECEDENTES

## 1.1. Antecedentes

El hormigón se ha consolidado como uno de los materiales más relevantes en el ámbito de la construcción, debido a sus notables propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión, su costo accesible y su durabilidad. Sin embargo, presenta limitaciones significativas en términos de resistencia a impactos, tracción y variaciones de humedad, lo que se traduce en un comportamiento deficiente bajo ciertos tipos de esfuerzos. Este fenómeno puede explicarse por el calor desprendido durante las primeras fases del endurecimiento, cuando se produce una reacción exotérmica, que genera la evaporación del agua presente en la mezcla. Entre las principales patologías que afectan al hormigón se encuentran la eflorescencia, el agrietamiento, la plasticidad y el fraguado prematuro, derivados de las tensiones internas acumuladas en el material.

En los últimos años, el sector de la construcción ha experimentado un crecimiento significativo, impulsando la demanda de soluciones estructurales más resistentes, duraderas y seguras tanto para los operarios como para los usuarios finales. En este contexto, la incorporación de fibras al hormigón se ha posicionado como una estrategia eficaz para mejorar el rendimiento del material, especialmente en lo que respecta a su capacidad de endurecerse y aumentar su resistencia.

Dentro de la variedad de fibras disponibles, se destacan las macrofibras y microfibras. Las macrofibras están diseñadas para prevenir el agrietamiento en el estado endurecido, reducir la apertura de fisuras en caso de ruptura y asegurar la funcionalidad de la estructura agrietada. La dosificación típica oscila entre el 0,2% y el 0,8% del volumen total de hormigón. Las fibras sintéticas y metálicas son las más comunes, con diámetros que varían entre 0,05 mm y 2,00 mm, y una relación longitud-diámetro (L/d) que fluctúa entre 20 y 100.

Por otro lado, las microfibras se emplean principalmente para prevenir el agrietamiento del hormigón en estado fresco o durante las primeras 24 horas del fraguado. Según Mindess (S.), la adición de microfibras al hormigón suele variar entre el 0,03% y el 0,15%. La fibra de polipropileno es una de las más utilizadas,

con un peso que oscila entre 0,3 y 1,2 kg/m<sup>3</sup> de hormigón (Chipana, 2021)<sup>1</sup>. Aunque estas dosis son bajas, resultan altamente eficaces en la mitigación de la fisuración por contracción plástica.

Las microfibras de polipropileno también contribuyen a mejorar la resistencia térmica, facilitar una distribución uniforme de las propiedades del hormigón, ofrecer mayor impermeabilidad y extender la vida útil de las estructuras.

El presente estudio tiene como objetivo analizar la reducción de fisuras causadas por las retracciones del hormigón mediante la incorporación de fibras sintéticas de polipropileno. Este complemento se añadirá al hormigón con el fin de optimizar sus características y alcanzar los objetivos de la investigación.

### **1.1.2. Planteamiento**

Una de las principales limitaciones del hormigón es la retracción, un fenómeno físico que compromete su rendimiento en aplicaciones donde las fisuras generadas por este proceso afectan negativamente la integridad estructural, la durabilidad y la seguridad, tales como losas de gran superficie, fundaciones expuestas a cambios térmicos, estructuras sometidas a ciclos de humedad y temperatura, y elementos de hormigón expuesto al aire libre. La retracción se origina por la pérdida de humedad del hormigón, y está influenciada por diversas variables, tales como la relación agua/cemento, el contenido de humedad ambiental, la temperatura, y el tipo de mezcla utilizada. Además, los diferentes tipos de retracción están directamente relacionados con el estado en que se encuentra el hormigón, bien sea fresco o endurecido (Cuellar, 2009)<sup>2</sup>.

La retracción se manifiesta principalmente en la formación de fisuras y grietas. Estas fisuras son fracturas superficiales que, además de afectar la estética del material, comprometen significativamente su resistencia estructural. Las fisuras no solo alteran la integridad del hormigón, sino que también inciden en su durabilidad,

---

<sup>1</sup> Influencia de Adición de Fibras de Polipropileno al concreto, Universidad Privada del Norte, Perú 2021

<sup>2</sup> Fisuras por Retracción en el hormigón, ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra 2009

dado que facilitan el ingreso de agentes agresivos que pueden acelerar el proceso de degradación del material.

La retracción en el hormigón puede ocurrir en una variedad de elementos de construcción, especialmente aquellos con grandes superficies o que están expuestos a cambios de temperatura o condiciones ambientales extremas (losas, fundaciones, muros de hormigón, hormigón expuesto al aire libre).

Las fisuras por retracción son un problema recurrente en la ingeniería civil, lo que ha llevado a un creciente interés por investigar sus causas, sus efectos y las estrategias para mitigar su aparición. En este contexto, los fabricantes de fibras sintéticas han propuesto que la incorporación de fibras al hormigón puede minimizar la fisuración tanto por retracción plástica como por secado prematuro. La adición de fibras en las proporciones recomendadas distribuye uniformemente millones de microfibras dentro de la matriz del hormigón, proporcionando un refuerzo multidimensional que mejora su capacidad de resistencia a la tracción.

En caso de que se formen fisuras por retracción, las fibras actúan como un puente de unión entre los bordes de las grietas, lo que contribuye a reducir tanto su longitud como su anchura, evitando que las fisuras se propaguen de manera excesiva y comprometida. El impacto de las fibras sobre las propiedades del hormigón, tanto en su estado plástico como endurecido, depende de varios factores, tales como la composición del hormigón, las proporciones de la mezcla, el tipo y la longitud de las fibras, así como la cantidad de fibra añadida al material.

La utilización de fibras sintéticas en la mezcla de hormigón emerge como una alternativa viable para mitigar las fisuras causadas por la retracción plástica. Esta solución no solo mejora la resistencia a la fisuración, sino que también contribuye a aumentar la durabilidad y fiabilidad de las estructuras de hormigón, haciendo frente a uno de los desafíos más comunes en la construcción moderna.

### **1.1.3. Formulación**

En el planteamiento de este trabajo surge la siguiente pregunta como punto de partida de la investigación:

### **¿Qué efectos provoca la incorporación de las fibras de Polipropileno en el hormigón?**

La incorporación de fibras de polipropileno en el hormigón mejora su resistencia a tracción, reduce la fisuración por retracción plástica y secado prematuro, aumenta la durabilidad al mejorar la distribución de las propiedades del material, y reduce la permeabilidad, lo que contribuye a una mayor vida útil del hormigón.

### **¿Aplicando una buena dosificación es posible reducir la fisuración del hormigón?**

El aplicar una buena dosificación disminuye la formación de fisuras por retracción, aunque en la elaboración del hormigón casi siempre existe error en la cuantificación de la dosificación.

### **¿Cómo evoluciona las fisuras, de una muestra de hormigón modificado con fibras sintéticas?**

El hormigón reforzado con fibras sintéticas reduce significativamente la aparición de fisuras asociadas a la retracción plástica. Estas fibras mejoran la homogeneización de la mezcla, lo que minimiza la segregación de los componentes del hormigón. Como resultado, se obtiene un material con una menor susceptibilidad a fisuración, ya que las fibras actúan como refuerzo interno, limitando la propagación y el ancho de las grietas generadas por las tensiones internas.

#### **1.1.4. Sistematización**

##### **¿Qué porcentaje se debe de colocar de fibras sintéticas?**

El porcentaje de fibras sintéticas a añadir varía según diversas fuentes, con un rango comúnmente recomendado entre 0,03% y 0,15% del volumen de 1 m<sup>3</sup> de hormigón, dependiendo de las especificaciones del proyecto y las características de la mezcla.

##### **¿Qué tipo de microfibra se utilizará?**

Se utilizarán microfibras de polipropileno, un material especialmente diseñado para reducir la fisuración tanto en el estado plástico como en el endurecido del hormigón, especialmente debido a variaciones térmicas. Estas fibras mejoran la homogeneidad

de la mezcla y aumentan la resistencia a tracción, todo ello a un coste relativamente bajo, optimizando las propiedades mecánicas del hormigón.

## **1.2. OBJETIVOS**

Los objetivos de la propuesta de trabajo de investigación son los siguientes:

### **1.2.1. General**

Evaluar la aplicación de microfibras de polipropileno como refuerzo, en un hormigón ( $f'_{ck} = 21$  MPa), para determinar la reducción de fisuras por retracción plástica en el hormigón, aplicando el ensayo “ASTM C1579”.

### **1.2.2. Específicos**

- Determinar y evaluar las características físicas y mecánicas de los agregados (grava, arena), estableciendo la calidad de los mismos.
- Diseñar la dosificación de una mezcla de hormigón patrón ( $f'_{ck} = 21$  MPa), mediante el método ACI-211.
- Determinar cómo evoluciona la resistencia a tracción, de una muestra de hormigón con microfibras de polipropileno tomando como testigos vigas rectangulares de 15cm x15cm x 50cm.
- Determinar el grado de fisuración en las muestras mediante el ensayo ASTM C1579 “Método de prueba estándar para la evaluación de agrietamiento por retracción plástica restringida de un hormigón reforzado con fibras”.
- Analizar el comportamiento de un hormigón de  $f'_{ck} = 21$  MPa con la adición de los distintos porcentajes de microfibras (0.03 - 0.09 y 0.15%) en función a 1m<sup>3</sup> de hormigón.
- Determinar la variación del índice de fisuración por retracción plástica de paneles de losas (estandarizados de acuerdo a la norma ASTM C1579), de hormigón reforzado con microfibras de polipropileno.
- Analizar, mostrar y comparar los resultados entre una mezcla patrón y tres mezclas con la incorporación de microfibras en los porcentajes de (0.03 - 0.09 y 0.15%), de forma gráfica y analítica.

- Determinar los costos de producción de las mezclas de hormigón reforzado con microfibras de polipropileno en comparación con el hormigón convencional de referencia.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

#### **1.3.1. Académica**

La investigación propuesta tiene como objetivo principal identificar una solución viable para mitigar el problema de la retracción en el hormigón. Al incorporar microfibras en la mezcla, se evaluará la reducción de las fisuras causadas por la retracción plástica, particularmente en aplicaciones de elementos estructurales como losas, fundaciones, muros de hormigón y hormigón expuesto a condiciones ambientales. El estudio permitirá comparar las técnicas actuales con enfoques alternativos, asegurando el cumplimiento de los requisitos mínimos de calidad, resistencia y otras propiedades esenciales. Además, se validarán y explicarán los conocimientos teóricos relacionados con el comportamiento del hormigón modificado.

#### **1.3.2. Técnica**

La presente investigación tiene como objetivo analizar la reducción de las fisuras causadas por la retracción plástica del hormigón mediante la incorporación de microfibras. Estas se añadirán a la mezcla como refuerzo complementario para alcanzar los objetivos establecidos en el estudio.

Las microfibras de polipropileno representan una alternativa eficaz para mejorar el comportamiento del hormigón en su estado fresco (plástico), contribuyendo a aumentar su ductilidad. La adición de fibras en la mezcla mejora las propiedades del hormigón, ya que reduce la fragilidad y la ruptura brusca, favoreciendo un comportamiento más dúctil en caso de tensiones.

El estudio de la relación entre la fibra y las propiedades tanto plásticas como mecánicas del hormigón permite optimizar la dosificación, ajustándola a las necesidades específicas de los componentes y mejorando la calidad del material. Esto proporciona características adecuadas para cumplir con los requisitos de los

diseños estructurales modernos, reduciendo el potencial de fisuración en el hormigón durante su estado plástico y mejorando su desempeño general.

### **1.3.3. Social**

La presente investigación busca ser un aporte que contribuya al avance de la industria de la construcción mediante la implementación de tecnologías innovadoras en el diseño del hormigón, incorporando microfibras de polipropileno. Al comprender la influencia de estas fibras sobre las propiedades del hormigón, es posible mitigar fenómenos de fisuración y agrietamiento sin comprometer las demás características del material, lo que con lleva beneficios económicos tanto para los propietarios como para los contratistas. Además, se reduce el riesgo psicológico del usuario, quien a menudo asocia la presencia de fisuras con una posible falla estructural, como el colapso o hundimiento de la edificación.

## **1.4. MARCO REFERENCIAL**

### **1.4.1. Espacial**

Esta investigación será realizada en el laboratorio de hormigones de la U.A.J.M.S., ubicada en la zona de El Tejar en la ciudad de Tarija.

### **1.4.2. Temporal**

Este proyecto de investigación tiene una duración planificada de 5 meses en el periodo de julio-noviembre del año 2024 el cual vamos a dividir en distintas fases:

Fase planeación: En esta fase tendremos que definir las tareas que debemos realizar y recursos necesarios para llevar a buen término el proyecto. Tendremos que realizar presupuestos o estimaciones del esfuerzo, costes y recursos y definir el plan de trabajo.

Fase ejecución: En esta fase vamos a poner en práctica todo el conocimiento adquirido, Se ejecutarán las tareas planificadas anteriormente

Fase evaluación: En esta fase analizaremos todos los resultados obtenidos.

## 1.5. ALCANCE

### 1.5.1. General

En el presente estudio se llevará a cabo el diseño de dos tipos de hormigón: uno convencional y otro modificado con microfibras, siguiendo los lineamientos de los ensayos establecidos por la norma ASTM, enfocados exclusivamente en aplicaciones para estructuras superficiales. El diseño se basará en una mezcla de hormigón convencional para uso estructural, con una resistencia característica de 21 MPa ( $f'_{ck}$ ). Este enfoque se enmarca dentro de una investigación experimental cuasi empírica, cuyo objetivo es evaluar el desempeño de hormigones convencionales modificados con microfibras de polipropileno, con el fin de reducir el grado de fisuración y mejorar la resistencia mecánica a la tracción.

### 1.5.2. Hipótesis

Con la adición de microfibras de polipropileno a un hormigón convencional en los porcentajes de 0.03 - 0.09 y 0.15 %, se reducirá la aparición y propagación de fisuras provocadas por retracción plástica entre un 65% y 85% con respecto a una muestra patrón sin refuerzo de microfibras.

### VARIABLES:

#### Variables del hormigón con incorporación de microfibras

- **Variable Dependiente:** Reducción de fisuras superficiales en el hormigón a causa de la retracción plástica.
- **Variable Independiente:** Adición de microfibras de polipropileno en el hormigón.
- **Variables intervinientes:**
  - ✚ Dosificación del hormigón con microfibras.
  - ✚ Análisis de consistencia del hormigón mediante el cono de abrams (trabajabilidad).
  - ✚ Control de variables (velocidad del viento, temperatura, humedad relativa.)

### **Variables del hormigón patrón**

- **Variable Dependiente:** Aumento de la resistencia a tracción.
- **Variable Independiente:** Proporciones de los componentes del hormigón:
  - ✚ Cantidad de agua.
  - ✚ Cantidad de cemento.
  - ✚ Cantidad y tipos de áridos.

### **1.5.3. Resultados a lograr**

Recopilación de datos relacionados con la incorporación de microfibras de polipropileno en mezclas de hormigón.

Elaboración de una dosificación de referencia utilizando el método ACI-211 para determinar la mezcla base de hormigón convencional.

Fabricación y ensayo de vigas de hormigón, tanto convencional como modificadas con microfibras, en los distintos porcentajes propuestos.

Comparación de los resultados obtenidos mediante el ensayo ASTM C1579, evaluando la fisuración tanto en el hormigón convencional como en el hormigón modificado con microfibras.

Análisis comparativo de las resistencias a la tracción obtenidas a través de ensayos de flexión.

Validación de la hipótesis planteada en la propuesta mediante los resultados experimentales.

### **1.5.4. Aporte académico**

La presente investigación tiene como objetivo aplicar los conocimientos adquiridos en la universidad, poniendo en práctica los conceptos aprendidos en materias como tecnología del hormigón, resistencia de materiales y ensayos de hormigón tanto fresco como endurecido (incluyendo pruebas de resistencia a la tracción, trabajabilidad, peso unitario, entre otras). El estudio se centrará en evaluar el impacto de las fibras en el comportamiento del hormigón, analizando si su incorporación mejora las propiedades del material.

Se espera que este trabajo sirva como una fuente bibliográfica para investigaciones futuras de naturaleza similar, así como un referente en la aplicación práctica de la ingeniería civil.

### **1.6. Normativas a utilizar**

Las normas utilizadas en la presente investigación son las siguientes:

- Normas ASTM.
- Método ACI para la dosificación.
- ASTM C1579 “método de prueba estándar para la evaluación de agrietamiento por retracción plástica restringida de un hormigón reforzado con fibras”.
- Manual de ensayos de suelos y materiales de hormigón (Administradora Boliviana de Carreteras, A.B.C.)

# II

## MARCO TEORICO

## 2.1. Introducción

El desarrollo tecnológico del hormigón en los últimos años, a través de la incorporación de nuevos tipos de cemento y diversos aditivos, ha dado lugar a formulaciones más eficientes en términos de resistencia y trabajabilidad. Sin embargo, este avance ha provocado una mayor propensión a la fisuración a temprana edad. Para abordar el estudio de este comportamiento, se consideró necesario desarrollar un método de ensayo que permita evaluar la influencia de las variables relacionadas con la composición y calidad de los materiales, así como el proceso de fabricación del hormigón, tomando en cuenta factores ambientales como la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, que afectan al proceso de secado y retracción del hormigón (LOBO, 2011)<sup>3</sup>.

Existen diversos factores que pueden inducir al agrietamiento del hormigón, y es fundamental considerar que este fenómeno resulta de la interacción de estos factores. En muchos casos, uno o más de ellos, dependiendo de las condiciones específicas, actúan como la causa principal del agrietamiento.

En los últimos años, las fibras sintéticas, especialmente la fibra de polipropileno, han ganado popularidad en la industria del hormigón debido a su capacidad para mejorar la resistencia al agrietamiento por contracción plástica, asentamiento plástico y contracción térmica. No obstante, diversos estudios han reportado resultados contradictorios respecto a los efectos de las fibras de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del hormigón, lo que indica la necesidad de más investigación sobre este tema.

Las microfibras de polipropileno pueden mejorar la resistencia del hormigón frente a los cambios térmicos, proporcionar una distribución más homogénea de sus propiedades, mejorar la impermeabilidad de los componentes y, en consecuencia, prolongar la vida útil del material. El polipropileno es un termoplástico que se obtiene mediante la polimerización del propileno, un subproducto gaseoso del refinado del petróleo, en presencia de un catalizador y bajo control estricto de temperatura y presión. Existen tres tipos principales de polipropileno

---

<sup>3</sup> “Fisuración por retracción de secado de hormigones bajo condiciones de alta evaporación”  
universidad de chile facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería civil

(homopolímero, copolímero aleatorio y copolímero de alto impacto), los cuales pueden modificarse y adaptarse a diversas aplicaciones.

La fibra de polipropileno presenta un buen equilibrio entre impacto y rigidez, además de ofrecer propiedades como la prevención de la humedad y actuar como barrera frente al vapor de agua. Su aplicación se extiende a diversas áreas, como túneles, carreteras, hormigones y morteros especiales. Gracias a estas características, se han logrado formulaciones óptimas al incorporar esta fibra en el hormigón, lo que mejora significativamente sus propiedades mecánicas, como la resistencia a la tensión, y resulta en un hormigón con excelente maleabilidad, durabilidad y resistencia.

Sin embargo, en la actualidad, la industria de la construcción en nuestro país se mantiene muy apegada a métodos tradicionales, lo que genera cierta resistencia a la adopción de nuevas tecnologías. A pesar de la alta eficiencia de las fibras sintéticas, como las de polipropileno, esta tecnología sigue siendo subvalorada. Por ello, existe un creciente interés en investigar más a fondo su potencial. El objetivo de este estudio es determinar la influencia de las fibras de polipropileno expandido en la resistencia del hormigón, así como establecer las cantidades óptimas de fibras de polipropileno que deben incorporarse en la mezcla de hormigón para obtener las mejores propiedades.

## **2.2. Fisuración**

Las fisuras son discontinuidades superficiales de hasta 1 mm de ancho que afectan únicamente la capa externa de una estructura del hormigón, y su formación está relacionada principalmente con variaciones en la humedad, cambios térmicos y el estado tensional de las armaduras. Por otro lado, las grietas son discontinuidades de ancho superior a 1 mm que penetran a través de todo el espesor de la estructura del hormigón, comprometiendo su integridad. Las fisuras pueden presentarse en cualquier componente estructural y están asociadas a diversos factores, tales como movimientos del suelo, distribución inadecuada de cargas no previstas, sobrecargas, y fluctuaciones térmicas, entre otros.

### 2.2.1. Clasificación

El control de la fisuración es muy importante a fin de determinar su evolución en el tiempo por lo que se clasifica en función a su ancho.

Las fibras se clasifican por el ancho ( $e$ ) y el nivel de repercusión en la estructura.

**Tabla 2.1 Clasificación de fisuras según el ancho ( $e$ ) y el grado de repercusión en la estructura.**

Clasificación de fisuras según el ancho ( $e$ )		Grado de repercusión en la estructura.
Microfisuras	$e < 0.05\text{mm}$	Nivel muy bajo
Fisuras	$0.1 < e < 0.2\text{mm}$	Nivel bajo, tener cuidado con ambientes marinos u otros agresivos donde puede desencadenarse la corrosión del acero.
Macrofisuras	$0.2 < e < 0.4\text{mm}$	Nivel moderado, podría existir repercusiones estructurales, se requiere estudio de vulnerabilidad

*Fuente: Entendiendo a las fisuras y grietas en las estructuras de hormigón (Sotomayor, 2020)*

**Tabla 2.2 Guía para anchos de fisura razonables de hormigón**

Condición de Exposición	Ancho de Fisura	
	plg	mm
Aire seco o membrana protectora	0.013	0.41
Humedad, aire húmedo, suelo	0.012	0.30
Productos químicos descongelantes	0.007	0.18
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0.006	0.15
Estructuras para retención de agua	0.004	0.10

*Fuente: Entendiendo a las fisuras y grietas en las estructuras de hormigón (Sotomayor, 2020)*

Es de esperar que una parte de las fisuras de la estructura superen estos valores, con el tiempo, el porcentaje de fisuras que superan estos valores puede ser significativo.

### 2.3. Fisuración en el hormigón

La fisuración en el hormigón se refiere a la aparición de grietas o fisuras en la superficie o en el interior de una estructura de hormigón. Estas fisuras ocurren cuando el hormigón no puede soportar las tensiones o esfuerzos a los que está sometido, y puede ser causada por una variedad de factores.

- **Tensiones internas:** Cuando el hormigón experimenta fuerzas de tracción o compresión que exceden su capacidad de resistencia.
- **Variaciones de temperatura:** Los cambios en la temperatura pueden provocar la expansión o contracción del hormigón, lo que genera fisuras. Esto es más común en estructuras expuestas a condiciones climáticas extremas.
- **Humedad:** La pérdida de agua o el secado rápido del hormigón puede generar tensiones internas y provocar fisuras.
- **Sobrecargas:** Si una estructura soporta más peso del que fue diseñada para soportar, puede desarrollar fisuras.

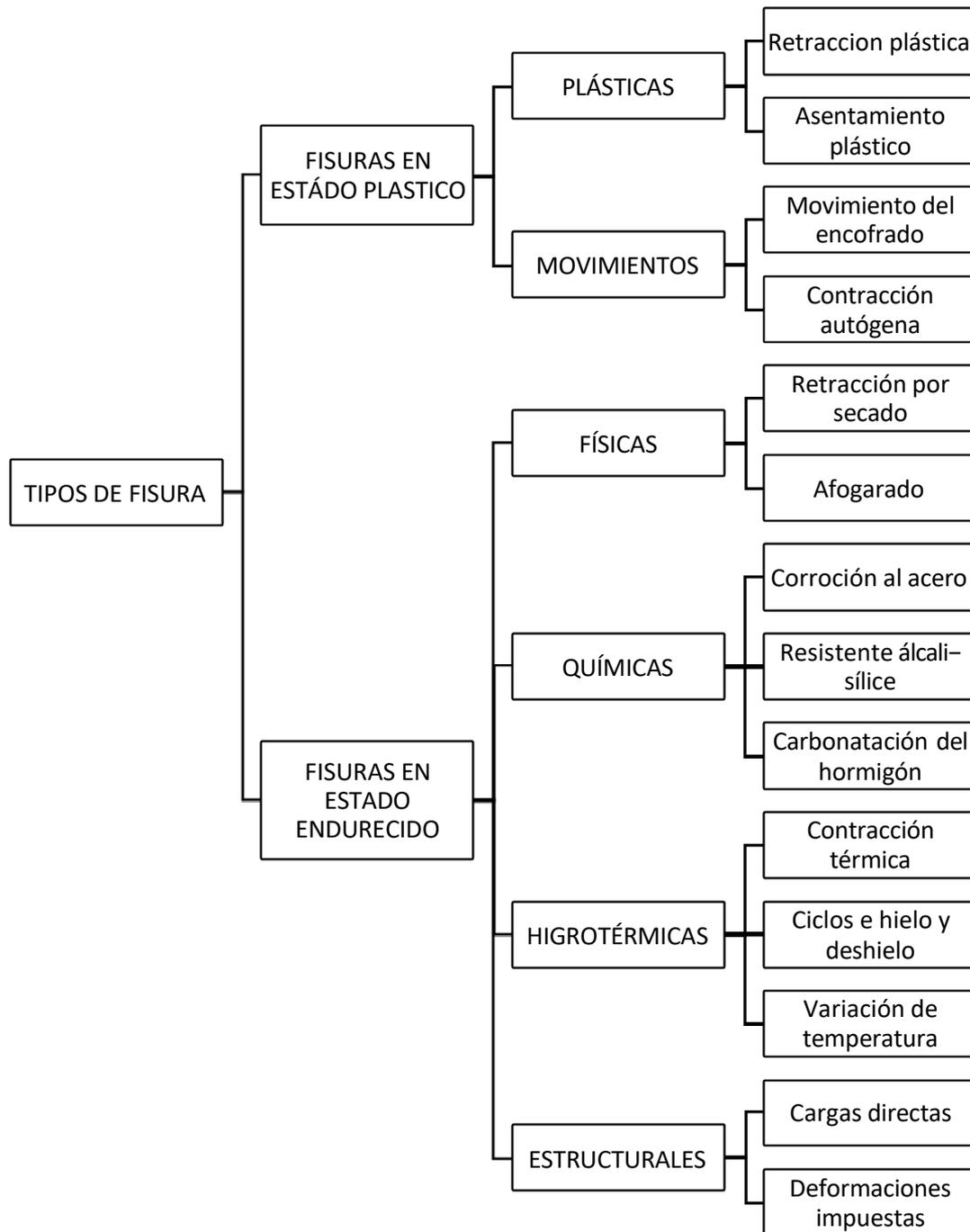
**Tabla 2.3 Presencia de fisuras en estado fresco**

Estado	Causas de la fisuración
Hormigón fresco	Pérdida prematura de agua por evaporación en superficie.
	Pérdida prematura de agua por un sustrato absorbente.
	Cambios térmicos (oscilación día-noche), o estacional.
	Retracción del material por secado.
	Cambios térmicos (oscilación estacional o día noche).
	Ciclos de humedecimiento y secado.

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.3.1. Tipos de fisura en el hormigón

**Figura 2.1: Tipos de fisura del hormigón**



*Fuente: Entendiendo a las fisuras y grietas en las estructuras de hormigón (Sotomayor, 2020)*

Dentro de las causas de fisuración del hormigón en estado fresco se destacan:

- **Fisuras por retracción (contracción) plástica:** La fisuración por retracción plástica (contracción) plástica ocurre cuando el hormigón está sujeto a una pérdida de humedad muy rápida provocada por la combinación de diferentes factores que incluyen la temperatura del aire y el hormigón, la humedad relativa y la velocidad del viento en la superficie del hormigón. (ACI-244R, 2001)
- **Fisuras por asentamiento plástico:** Esto ocurre cuando el hormigón en estado fresco ha sido colocado en el molde, en ese momento los sólidos de la mezcla tienden a asentarse por efecto de la gravedad, desplazando los elementos menos densos como el agua y el aire atrapado; el agua aparece en la superficie como agua de exudación y el asentamiento continuo hasta que el hormigón se endurece. (Corral J. T., 2004)<sup>4</sup>.
- **Fisuras causadas por movimiento de encofrados:** Las fisuras causadas por movimiento de encofrados son de tipología muy variada y deben prevenirse mediante un cálculo de encofrados y apuntalamiento adecuado, aspectos que siempre deben ser tenidos en cuenta en las construcciones no sólo por la calidad del hormigón sino también por la seguridad de los operarios.
- **Contracción autógena:** La fisuración por contracción autógena puede aparecer en hormigones de muy baja relación agua / cemento como en hormigones de alta performance, principalmente en pavimentos.

#### 2.4. Retracción plástica

El comité (ACI-244R, 2001) menciona que la retracción plástica causada por una evaporación excesiva de agua, debida a las condiciones ambientales prevalentes en el que se encuentra el hormigón en estado fresco o plástico. Como se ilustra en la Figura 2.2. la tensión de tracción inducida por la restricción de la retracción por

---

<sup>4</sup> Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón. José Toirac corral 2004

secado se reduce con el tiempo debido a la fluencia lenta o a la relajación de la tensión. Sin embargo, el beneficio de la fluencia lenta disminuye con la edad, de manera que la tendencia a la fisuración aumenta con el transcurso del tiempo”

**Figura 2.2. Fisuración del hormigón provocada por la retracción por secado**



*Fuente: Fisura del hormigón generado por la retracción plástica (ACI-244R, 2001)*

#### 2.4.1. Fisuración por retracción plástica

La principal razón de que se presenten las fisuras por retracción plástica es la rápida evaporación del agua en la superficie del hormigón debido a que la velocidad de evaporación superficial es mayor que la velocidad de exudación o sangrado del agua desde el interior hasta la superficie. Este fenómeno hace que ocurra la retracción en la superficie y aparezcan las fisuras.

Según el comité (ACI-244R, 2001) la fisuración por retracción plástica generalmente aparece sobre las superficies de pisos y losas en si sobre las superficies planas, aparecen fisuras por retracción plástica no deseadas si las condiciones de trabajo son tan secas que la humedad sale de la superficie de hormigón, más rápido de lo que es reemplazada por el agua de exudación.

Es más probable que haya fisuración por retracción plástica en función a las condiciones ambientales, temperaturas del hormigón y dosificación de la mezcla que son combinadas de tal manera que provoca una rápida pérdida de la humedad superficial.

Estas condiciones de fisuración en estado plástico se pueden desarrollar tanto en tiempo caluroso como en tiempo frío cuando se combinan los siguientes factores: baja humedad, altas velocidades del viento y una superficie de hormigón tibio, como también una alta temperatura ambiente.

“La fisuración por retracción plástica está asociada con la tasa de pérdida de humedad superficial en relación con la tasa de reabastecimiento de humedad por exudación” (ACI 224R, 2001)<sup>5</sup>. La pérdida de humedad está asociada directamente con la exudación. Además, la pérdida de humedad en la superficie del hormigón depende de una combinación, que incluyen la temperatura del aire, la temperatura del hormigón, la humedad relativa del aire en contacto con el hormigón, el grado de saturación de la superficie de hormigón (cantidad de agua exudada) y la velocidad del viento en la superficie del hormigón, factores que influyen directamente en la fisuración del hormigón.

#### **2.4.2. Características de la retracción plástica**

Las siguientes características de las fisuras por retracción plástica son:

- Las fisuras por retracción plástica tienen una profundidad considerable que en entre 20mm a 40mm, dado el caso en ocasiones de atravesar la losa.
- Aparecen en las primeras horas después de hormigonado entre 1 a 10 horas y se manifiestan en grupos.
- Las fisuras son más frecuentes y mayores cuando la condición climática favorece a una acelerada evaporación en la superficie, considerando la temperatura, viento y humedad.
- Las fisuras no atraviesan las gravas o piedras, sino las rodean
- Si el elemento tiene espesor uniforme, las fisuras son de trazo corto, sin direcciones preferentes y generalmente se distribuyen al azar.
- Si el espesor del elemento estructura (losa) tiene espesores variables, las fisuras se generan en las secciones más delgadas.

---

<sup>5</sup> Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón, formado por el Comité ACI 224 2001

- No tienen aspecto de rotura limpia ni presentan bordes agudos y bien definidos como cuando sucede después a las que se forman cuando el hormigón ha endurecido.

## **2.5. Hormigón reforzado con fibras**

El hormigón reforzado con fibras representa una innovación dentro de los hormigones especiales. Con el tiempo, el uso de fibras en la mezcla de hormigón ha ganado mayor frecuencia, lo que ha llevado a su estudio y análisis por parte de organismos internacionales como el Comité ACI (American Concrete Institute) y ASTM (American Society for Testing and Materials). Estos comités han establecido normas y métodos de ensayo específicos para la incorporación de fibras en el hormigón, con el fin de optimizar sus propiedades y aplicaciones.

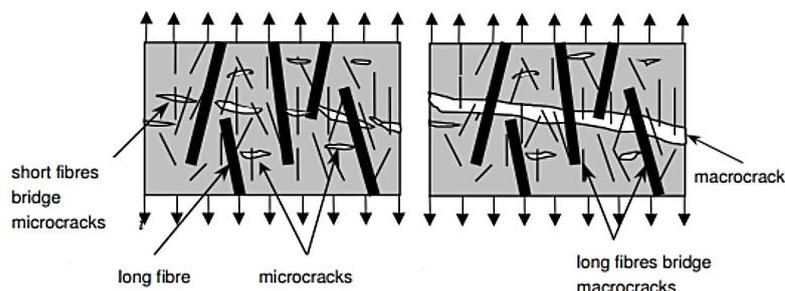
Esto ha creado la necesidad de revisar los métodos de prueba existentes y desarrollar nuevos métodos, cuando sea necesario, para determinar las propiedades de FRC (hormigón reforzado con fibras).

El hormigón tiene la capacidad de resistir los efectos del agua sin daños significativos, la capacidad de moldear piezas en diferentes formas y tamaños, y el hecho de que está disponible a bajo precio en las obras de construcción. Como material frágil o casi frágil, las barras de refuerzo se incorporan comúnmente en elementos estructurales para resistir las fuerzas de tracción, siendo el hormigón armado y el hormigón pretensado los más comunes.

Varias fibras se han utilizado desde la antigüedad para reforzar materiales frágiles como las fibras vegetales o pelo de animal en un mortero, hoy en día, las fibras se incorporan a sustratos de cerámica, epoxi y resina, entre otros, que mejora el rendimiento de los materiales.

El Hormigón Reforzado con Fibras (HRF), la incorporación de fibras cortas dispersadas en la mezcla de hormigón genera propiedades que destacan como una importante resistencia que controla la formación de fisuras.

**Figura 2.3 Efecto de las fibras sobre las fisuras**



Fuente: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6554/05.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

En la actualidad existen muchos tipos de fibras en el mercado, de origen natural (carbón, celulosa...), sintéticas (nylon, polipropileno...) o metálicas.

**Tabla 2.4. Tipos de fibras y sus características**

Tipos de fibra	Diámetro (mm)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia a tracción (mpa)	Módulo de young(gpa)	Alargamiento de rotura (%)
Acrílico	0,02-0,35	1100	200-400	2	1,1
Asbesto	0,0015-0,02	3200	600-1000	83-138	1-2
Algodón	0,2-0,6	1500	400-700	4,8	3-10
Vidrio	0,005-0,15	2500	1000-2600	70-80	1,5-3,5
Grafito	0,008-0,009	1900	1000-2600	230-415	0.5-1
Aramida	0,01	1450	3500-3600	65-133	2,1-4
Nylon	0,02-0,4	1100	760-820	4,1	10
Poliéster	0,02-0,4	1400	720-860	83	11-13
<b>Polipropileno</b>	<b>0,02-1</b>	<b>900-950</b>	<b>200-760</b>	<b>3,5-15</b>	<b>5-25</b>
Polivinil	0,027-0,660	1300	900,1600	23-40	7,0
Parbon	-	1400	4000	230-240	1,4-1,8
Rayón	0,02-0,38	1500	400-600	6,9	10-25
Basalto	0,0106	2593	990	7,6	256
Polietileno	0,025-1	960	200-300	5,0	3
Sisal	0,08-0,3	760-1100	228-800	11-27	2,1-4,2
Coco	0,11-0,53	680-1020	108-250	2,5-4,5	14-41
Yute	0,1-0,2	1030	250-350	26-32	1,5-1,9
Acero	0,15-1	7810	345-3000	200	4-10

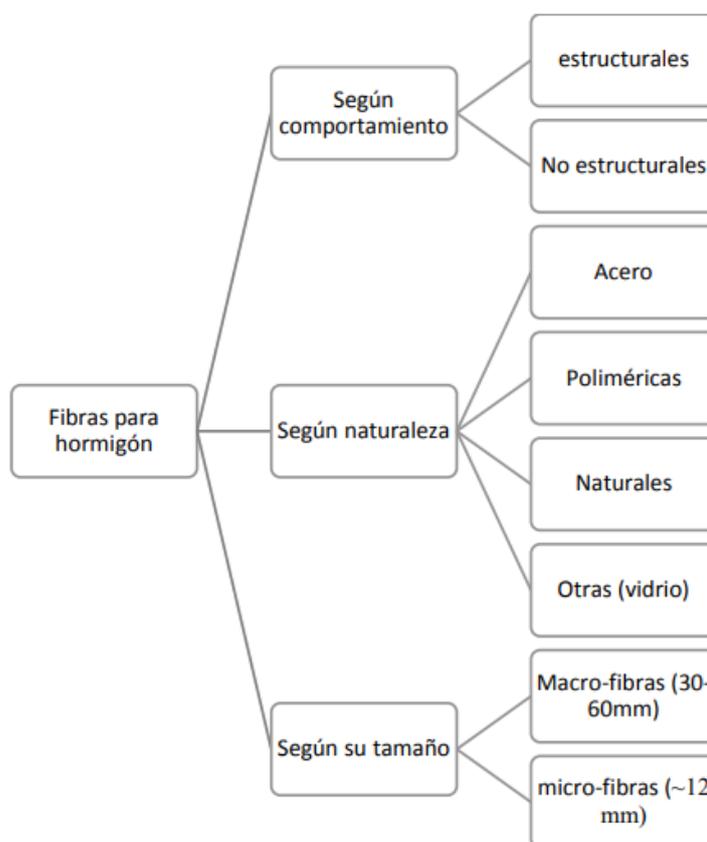
Fuente: *Aplicaciones estructurales del hormigón con fibras en edificación* (Pablo Pujadas Álvarez)<sup>6</sup>

<sup>6</sup> APLICACIONES ESTRUCTURALES DEL HORMIGÓN CON FIBRAS EN EDIFICACIÓN, Universidad politécnica de Cataluña Pablo PUJADAS ÁLVAREZ 2016

Las fibras se pueden clasificar según su comportamiento en fibras estructurales y no estructurales, las primeras se pueden tener en cuenta en los cálculos de la sección mientras que las segundas se utilizan para mejorar algunas propiedades del hormigón sin tenerlas en cuenta en los cálculos (García, 2016)<sup>7</sup>.

También se pueden clasificar según su naturaleza como fibras de acero, poliméricas, de vidrio, etc.

**Figura 2.4. Clasificación de las fibras para hormigón**



*Fuente: Caracterización de hormigón con Fibras sintéticas recicladas.*

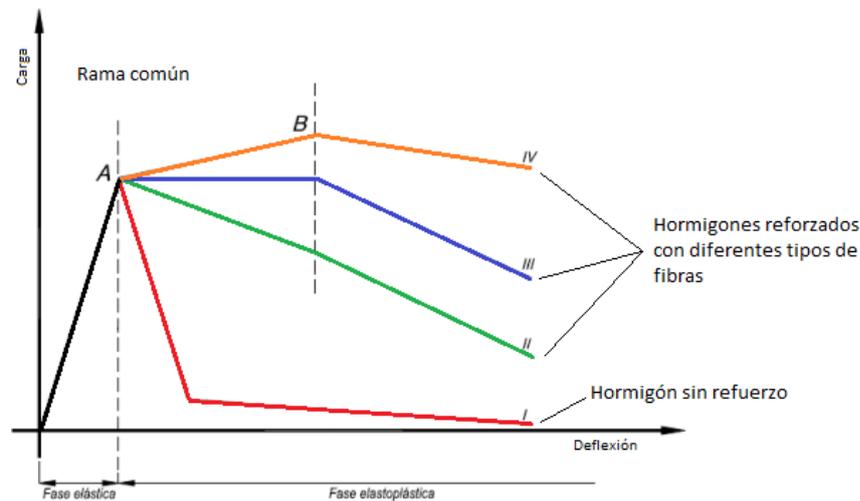
### 2.5.1. Comportamiento mecánico

Los hormigones reforzados con fibras presentan una mayor deformación frente a los hormigones sin refuerzo, de manera que, cuando se alcanza la carga de rotura,

<sup>7</sup> Caracterización de hormigón con fibras sintéticas recicladas, Itziar Carné García Universidad Politécnica de València 2016.

comienzan a trabajar las fibras que, generalmente, tienen buena resistencia a tracción, y ayudan a que no se propague la fisura en el hormigón.

**Figura 2.5. Efecto de las fibras sobre el comportamiento del hormigón.**



*Fuente: Caracterización de hormigón con Fibras sintéticas recicladas.*

La geometría de las fibras también tiene un peso importante en el comportamiento del hormigón. Existen fibras lisas, dobladas, laminadas, trefiladas, etc.

**Figura 2.6. Posibles geometrías para fibras metálicas "se señalan las geometrías utilizadas en este estudio."**



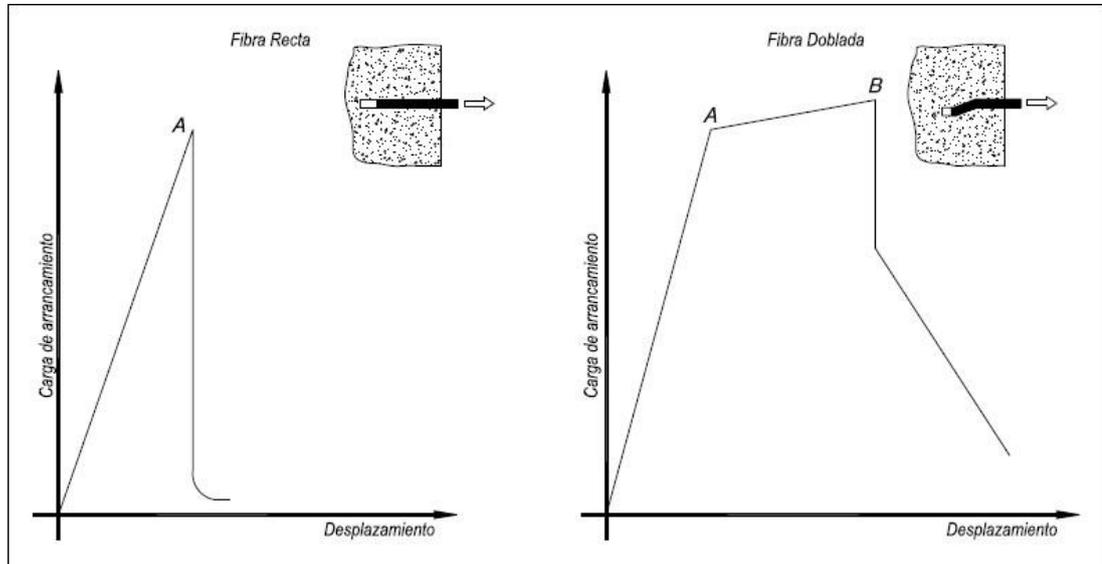
*Fuente: Caracterización de hormigón con Fibras sintéticas recicladas.*

Se debe tener en cuenta este factor dependiendo del uso que se le vaya a dar al hormigón, puesto que una fibra lisa mostrará menos adherencia que una fibra doblada o rugosa.

Esto lleva a un factor importante; el comportamiento de las fibras cuando se alcanza la rotura de la pieza de hormigón. Una fibra doblada en los extremos no se comportará igual que una fibra recta. Si la fibra no tiene un buen comportamiento

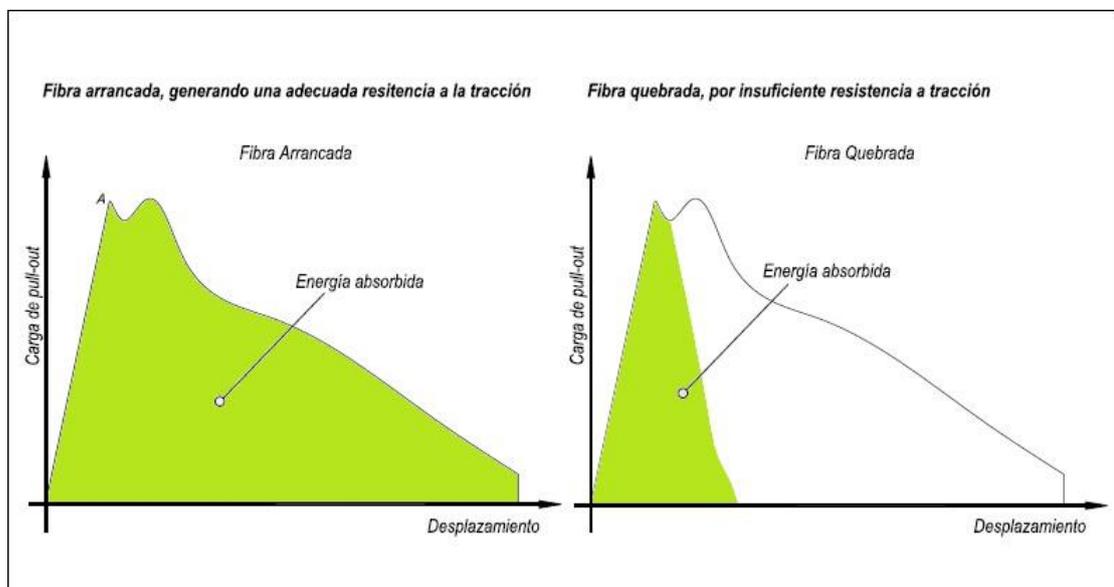
a tracción, se quebrará bruscamente reduciendo significativamente la absorción de energía. Esto se comprende mejor observando las gráficas de la Figura 2.7.

**Figura 2.7. Influencia de la geometría de las fibras.**



*Fuente: Caracterización de hormigón con Fibras sintéticas recicladas.*

**Figura 2.8. Influencia de la resistencia a tracción de las fibras sobre la energía absorbida.**



*Fuente: Caracterización de hormigón con Fibras sintéticas recicladas.*

### 2.5.2. Fibras sintéticas

Las fibras sintéticas que son específicamente diseñadas para el hormigón se fabrican a partir de materiales sintéticos que pueden resistir el medio alcalino del hormigón a largo plazo. Las fibras sintéticas son añadidas al hormigón antes o durante la operación de mezclado. El uso de las fibras sintéticas en proporciones típicas no requiere de ningún cambio en el diseño de la mezcla.

Las fibras sintéticas, no sufren los daños ocasionados por la corrosión. Pueden ser de materiales como el polipropileno, nylon, alcohol de polivinilo, entre otros, y se ha de comprobar su compatibilidad con el hormigón. Estas fibras están sujetas a la norma UNE – EN 14889 – 2 donde se establecen los criterios de clasificación y de conformidad. Según esta norma se consideran como macrofibras, las que tienen diámetros  $\geq 0.3$  mm mientras que las microfibras, utilizadas para el control de retracción plástica, son de diámetros  $< 0.3$  mm y longitudes alrededor de los 12 mm.

#### 2.5.2.1. Macrofibras sintéticas

Aunque la norma establece para estas fibras tamaños  $> 0.3$  mm de diámetro y 30 mm de longitud, las macro fibras sintéticas comerciales suelen tener diámetros cercanos a 1mm y longitudes alrededor de los 40 – 50 mm (Figura 2.9). Se utilizan en el hormigón con carácter estructural, para que se consideren así, deben cumplir los requisitos marcados.

**Figura 2.9. Aspecto de macrofibras sintéticas comerciales.**



*Fuente: Caracterización de hormigón con Fibras sintéticas recicladas.*

### 2.5.2.2. Microfibras sintéticas

Estas fibras están destinadas a evitar la fisuración del hormigón en estado fresco o antes de las 24 horas, sin embargo, carecen de carácter estructural. Este tipo de fibras, denominadas también monofilamento, actúan reteniendo en la masa de hormigón tanto los sólidos, como el agua, de forma que evitan que gran parte del agua se eleve a la superficie libre de hormigón y se evapore rápidamente, dando lugar a la retracción y, en consecuencia, a la fisuración del hormigón.

Otra de las aplicaciones de este tipo de fibras es la de aumentar la resistencia al fuego, al tener un gran número de fibras por kg, estas se distribuyen por toda la masa de hormigón, de forma que, a altas temperaturas, la fibra desaparece, proporcionando una red capilar a través de la cual se evapora fácilmente el agua evitando el estallido del hormigón.

**Figura 2.10. Aspecto de microfibras sintéticas comerciales.**



*Fuente: Caracterización de hormigón con Fibras sintéticas recicladas.*

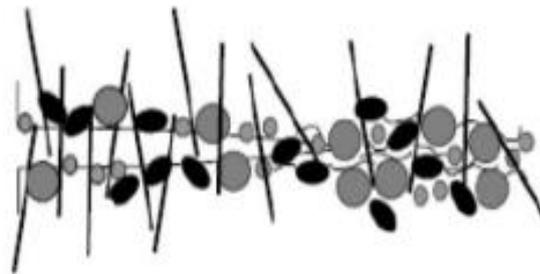
### 2.5.2.3. Fibras de polipropileno

La fibra de polipropileno es un tipo de fibra sintética fabricada a partir del polímero polipropileno, que es un termoplástico obtenido del proceso de polimerización del propileno, un derivado del petróleo. Es conocida por ser ligera, resistente y versátil, lo que la hace ideal para una variedad de aplicaciones.

Este tipo de fibras tienen ciertas propiedades que las hacen más favorables para su mezclado en el hormigón debido a que son químicamente inertes y resistentes a la corrosión, a diferencia de las fibras de acero; son muy estables y presentan una superficie impermeable por lo cual no quita agua de mezclado, son livianas, y pueden ser fabricadas en diversas formas y con costos más bajos que otros tipos de

fibras. “Las fibras de polipropileno contribuyen al comportamiento post-pico del hormigón, ya que, al estar distribuidas tridimensionalmente, cosen las fisuras formando un “puente” entre los áridos gruesos, permitiendo una formación controlada de las fisuras, y llevando al hormigón a un comportamiento dúctil después de la fisuración inicial, evitando así la fractura frágil” (Pujadas Álvarez, 2008)<sup>8</sup>.

**Figura 2.11. Fibras en el hormigón cosiendo las fisuras.**



*Fuente: PUJADAS, P. “Durabilidad del hormigón con fibras de polipropileno”*

El polipropileno se utiliza como material de refuerzo debido a las siguientes razones:

- Muy buena relación coste/beneficio
- Versatilidad: compatible con la mayoría de las técnicas de procesamiento existentes y usado en diferentes aplicaciones.
- Es el material plástico de menor peso específico (0,9 g/cm<sup>3</sup>), lo que implica que se requiere de una menor cantidad para la obtención de un producto terminado
- Propiedades mecánicas: el polipropileno logra alcanzar buen balance rigidez/impacto.
- Propiedades químicas: presenta excelente resistencia química a solventes comunes
- Buena estabilidad dimensional a altas temperaturas (150°C)
- Barrera al vapor de agua: evita el traspaso de humedad

---

<sup>8</sup> Durabilidad del hormigón con fibras de polipropileno, Pujadas Álvarez Pablo universidad politécnica de Cataluña 2008.

**Figura 2.12. Propiedades físicas de la fibra de polipropileno.**

<b>Propiedad</b>	<b>Descripción</b>
Material	Polipropileno Virgen 100%
Diseño	Monofilamento
Diámetro	12 Micrones (+1/-3 Micrones)
Color	Natural
Gravedad Específica	0,91 gr./ cm <sup>3</sup>
Humedad	<2%
Área de Superficie Específica	370 m <sup>2</sup> /Kg. / 1,790 ft <sup>2</sup> /lb.
Punto de Fusión	160°C / 320 °F
Módulo de Elasticidad	5.5 GPA / 800 ksi
Tenacidad	8.5 cN/dtex / 765 MPa / 110 KSI
Resistencia a la Tensión	110 ksi (765 MPa)
Punto de Ignición	590°C / 1094°F
Conductividad Térmica y Eléctrica	Baja
Elongación a la Ruptura	<25%
Absorción de Agua	Cero
Resistencia Química y Alcalina	Excelente
Lubricación	<15%
Longitud	12 mm

*Fuente: Catalogo técnico Fibra Ultrafina, Chema 2014.*

### **Usos de la fibra de polipropileno**

A pesar de que el hormigón con fibra de polipropileno no se conoce como un material de uso común “las aplicaciones más relevantes ahora son en pavimentos industriales, hormigones de alta resistencias, túneles, carreteras, estructuras prefabricadas de hormigón, así como morteros especiales” (Maccarcco Alarcón, 2021)<sup>9</sup>, reduciendo la fisuración por retracción del hormigón.

Además, este tipo de fibras son utilizadas como un tipo de refuerzo secundario.

- ✚ Losas de hormigón (pavimentos, placas, techos).
- ✚ Hormigón y Mortero proyectado.
- ✚ Revestimiento de canales de regadío y/o cisterna.

<sup>9</sup> “Adición de la fibra de polipropileno en un concreto para mejorar sus propiedades plásticas y mecánicas”, Maccarcco Alarcón, Jhonatan Fran FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 2021

- ✚ Paneles de fachada.
- ✚ Elementos prefabricados.
- ✚ Morteros de reparación e impermeabilización.

### **Propiedades del hormigón fresco con adición de fibra de polipropileno**

La presencia de las fibras en el hormigón fresco altera la consistencia de la mezcla y disminuye el agrietamiento, y en el caso de estado endurecido, aumenta la tenacidad y la resistencia al impacto y disminuye la contracción por secado y el agrietamiento; el resto de las propiedades permanecen sin cambios relevantes (Fonseca, 2021)<sup>10</sup>.

A continuación, se detallan algunas de las propiedades del hormigón fresco cuando se le añade fibra de polipropileno:

- ✚ **Consistencia:** La mezcla se altera.
- ✚ **Agrietamiento:** Se reduce la formación de grietas.
- ✚ **Tenacidad:** Aumenta en el hormigón endurecido.
- ✚ **Resistencia al impacto:** Aumenta en el hormigón endurecido.
- ✚ **Contracción por secado:** Disminuye en el hormigón endurecido.

#### **2.5.2.4. Tipos de Fibra de Polipropileno**

- ✓ **Fibra de polipropileno monofilamento.**

Estas fueron diseñadas para sustituir especialmente la maya electro soldada, varillas y fibras de acero. Además de ser anticorrosivas, antimagnéticas y 100 % a prueba de álcalis. Debido a su alto desempeño permite reducciones significativas en el encogimiento plástico, así como mejores en la resistencia a tracción, compresión e impacto. También proporciona una fácil dispersión, facilidad de uso, un fácil bombeo, buen encaje y un buen terminado. Facilitan el manejo y colocación a diferencia de las fibras de acero, mallas electrosoldadas o armadas con varilla.

---

<sup>10</sup> Influencia de Adición de Fibras de Polipropileno al Concreto, Fonseca Diego Universidad Privada del Norte, Perú 2021

### Características de la Fibra de Polipropileno Monofilamento:

- ✚ **Composición:** Está hecha de polipropileno, un polímero termoplástico, que es conocido por su resistencia al desgaste, a los productos químicos y a la humedad.
- ✚ **Forma:** A diferencia de las fibras de polipropileno multifilamento, las fibras monofilamentos están compuestas por un solo filamento continuo, lo que les otorga mayor rigidez y resistencia a las fuerzas externas.
- ✚ **Longitud:** Las fibras monofilamentos pueden fabricarse en longitudes que varían desde pocos milímetros hasta varios centímetros, dependiendo de la aplicación para la que se vayan a utilizar.
- ✚ **Apariencia:** Generalmente tienen una estructura recta, lisa y uniforme, lo que les da un aspecto similar a un hilo fino y continuo.
- ✚ **Resistencia:** Tienen una excelente resistencia a la tracción, al desgaste, y son resistentes a la oxidación y descomposición por productos químicos.

**Figura 2.13. Distintas fibras de polipropileno**



*Fuente: Comportamiento Mecánico del Hormigón Reforzado con Fibra de Polipropileno Multifilamento: Influencia del Porcentaje de Fibra Adicionado.*

Las fibras de monofilamento son resistentes y por su forma tiene una gran adherencia al hormigón, transmitiendo los esfuerzos, además que se elimina la

preocupación relativa a la correcta colocación del refuerzo y a comparación de las fibras de acero no se corroen, son antimagnéticas y 100% a prueba de álcalis.

### **Usos de la Fibra de Polipropileno Monofilamento:**

#### **Refuerzo en el hormigón**

- **Prevención de fisuras:** Se utiliza para reducir las fisuras en el hormigón que pueden ocurrir por el encogimiento plástico durante el secado y curado. La fibra monofilamento actúa distribuyendo las tensiones y previniendo que las fisuras se agranden.
  - **Mejora de la resistencia al impacto:** El hormigón reforzado con fibra de polipropileno monofilamento tiene una mayor resistencia a los impactos y a la abrasión, lo que lo hace ideal para pavimentos y pisos industriales.
  - **Hormigón más duradero:** Ayuda a mejorar la durabilidad del hormigón, evitando que se formen grietas por cambios térmicos y reduciendo la penetración de agua y agentes agresivos.
- ✓ **Fibra de polipropileno multifilamento.**

Las fibras de polipropileno multifilamento son especialmente tratadas, diseñadas y producidas para su uso en hormigones y morteros. Se presentan en forma de mechas compuestas de polipropileno multifilamento con un agente de superficie. Se distribuyen aleatoriamente dentro de la masa de hormigón o mortero formando una red tridimensional muy uniforme.

La adición de este producto reduce la fisuración por retracción superficial en morteros y sustituye a la armadura destinada a absorber las tensiones que se producen durante el fraguado y endurecimiento del hormigón, aportando las siguientes ventajas: Reducción de la fisuración por retracción e impidiendo su propagación, aumento importante del índice de tenacidad del hormigón, mejora la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad (Cebrián, 2011)<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> "Comportamiento Mecánico del Hormigón Reforzado con Fibra de Polipropileno Multifilamento: Influencia del Porcentaje de Fibra Adicionado", Cebrián, Fernando Muñoz UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA 2011

### **Características de la Fibra de Polipropileno Multifilamento:**

- ✚ **Composición:** Está fabricada a partir de polipropileno, un polímero termoplástico conocido por su resistencia a la humedad, productos químicos y su ligereza. A diferencia de las fibras monofilamento, la fibra multifilamento está formada por múltiples hebras de polipropileno, lo que le proporciona una estructura más flexible y suave.
- ✚ **Flexibilidad:** La fibra multifilamento es más flexible que la monofilamento, lo que la hace adecuada para aplicaciones que requieren mayor adaptabilidad, como en la fabricación de textiles o refuerzos en hormigón.
- ✚ **Resistencia:** Aunque es menos rígida que la fibra monofilamento, la fibra multifilamento ofrece una buena resistencia a la tracción y resistencia al desgaste.
- ✚ **Forma:** Las fibras multifilamento tienen una estructura de varios hilos finos que están trenzados o hilados, lo que les da una mayor resistencia y flexibilidad en comparación con los filamentos individuales.
- ✚ **Longitud:** Pueden fabricarse en una variedad de longitudes, desde unos pocos milímetros hasta varios centímetros, dependiendo de la aplicación.

### **Usos de la Fibra de Polipropileno Multifilamento:**

#### **Refuerzo en hormigón**

**Control de fisuras:** La fibra de polipropileno multifilamento se utiliza para reducir las fisuras en el hormigón causadas por el encogimiento plástico y los cambios de temperatura. Ayuda a distribuir de manera más uniforme las tensiones internas y previene el agrietamiento.

**Mejora de la durabilidad:** Al ser más flexible, estas fibras ayudan a mejorar la tenacidad del hormigón, aumentando su resistencia al impacto, la abrasión y la penetración de agua.

**Hormigón para pavimentos y estructuras:** Se utilizan en la fabricación de pavimentos, calles, pisos industriales y estructuras que están expuestas a condiciones extremas o de alto desgaste.

**Figura 2.14. fibra de polipropileno multifilamento**



*Fuente: Comportamiento Mecánico del Hormigón Reforzado con Fibra de Polipropileno Multifilamento: Influencia del Porcentaje de Fibra Adicionado.*

**Fibras de polipropileno como protección pasiva del hormigón contra el fuego.** Recientes investigaciones han llegado a la conclusión que el agregar a la matriz del hormigón microfibras, de polipropileno (de tipo multifilamento y diámetros menores a 0,50 mm) reducen significativamente el fenómeno de “spalling” en el hormigón durante un incendio.

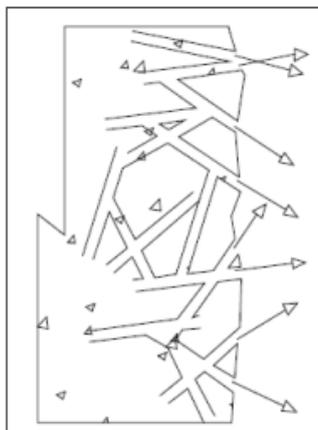
El mecanismo por el que las fibras de polipropileno contribuyen a reducir el fenómeno de “spalling” es simple, debido a que en el momento que se alcanzan los 160 °C las fibras de polipropileno se derriten reduciendo el volumen que ocupan. Al alcanzarse los 360°C el polipropileno se evapora creando una serie de conductos en el interior de la matriz que llegan hasta la superficie.

Parte de estos gases son liberados en la atmósfera por medio de los pequeños canales que se crean debido a la “desaparición” de las fibras. Estos pequeños conductos son utilizados también por los gases que se producen por la evaporación del agua interna en el hormigón, reduciendo así la presión<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> HANNANT, L., (1994), “Fiber – Reinforced Cements and Concrets”. En: ILLSTON, J., “Materiales de Construcción; su naturaleza y problemas”, p. 359, Londres, (2002).

**Figura 2.15. Vía de escape de los ases dentro de la matriz**



*Fuente: HANNANT, L., (1994)*

#### **2.5.2.5. Dosificación Fibra de Polipropileno**

La dosificación de microfibras de polipropileno para el hormigón u otros materiales depende de varios factores, como el tipo de aplicación, las propiedades deseadas en el material final y las recomendaciones del fabricante. Sin embargo, hay algunos parámetros generales que se pueden considerar:

##### **Para hormigón**

Las microfibras están diseñadas para evitar que el hormigón se agriete en estado fresco o en 24 horas. Se dosifican en el hormigón para volúmenes de 0,03% a 0,15% en peso del hormigón, dependiendo de los resultados que se deseen obtener, como la mejora en la durabilidad, la resistencia a la fisuración o la trabajabilidad.

La más común es la fibra de Polipropileno, cuyo peso oscila entre 0,3 y 1,2 kg / m<sup>3</sup> de hormigón. Estas dosis son extremadamente bajas, pero muy efectivas, evitando que el hormigón se agriete debido a la retracción plástica (Sika Informaciones)<sup>13</sup>.

Cuando se menciona que su dosificación oscila entre 0,3 y 1,2 kg/m<sup>3</sup> de hormigón, estamos hablando de la cantidad de fibra por metro cúbico de hormigón y no en términos de porcentaje respecto al peso del cemento, como es común en otros tipos de dosificación.

<sup>13</sup> Sika Informaciones Técnicas Concreto reforzado con fibras, ISSN-0122-0594

**Factores a tener en cuenta:**

- ✚ **Longitud y tipo de fibra:** La longitud de la fibra de polipropileno influye en la dosificación. Las fibras más largas, por ejemplo, requieren una cantidad menor para alcanzar el efecto deseado en comparación con las fibras más cortas.
- ✚ **Propósito específico:** Si el objetivo es la mejora de propiedades específicas, como la durabilidad o la resistencia a la tracción, puede ser necesario ajustar la dosificación.

Es importante siempre revisar las especificaciones del producto proporcionadas por el fabricante de la fibra de polipropileno, ya que las recomendaciones pueden variar en función del tipo de fibra y el uso específico para el cual está destinada.

Las microfibras de Polipropileno pueden producir una mayor resistencia a los cambios térmicos, distribuir uniformemente sus propiedades del hormigón, impermeabilizar los componentes y prolongar la vida útil.

**2.6. Hormigón**

El hormigón es sin lugar a dudas uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo. Se define hormigón como: “Material que resulta de la mezcla de cemento, grava, arena, agua, eventualmente aditivos y adiciones en proporciones adecuadas que, al fraguar y endurecer, adquiere resistencia” (CALFUEQUE, 2007)<sup>14</sup>.

Cuando el hormigón se encuentra recién mezclado debe presentar una condición plástica, que facilite las operaciones indispensables para su colocación en los moldes y con el paso del tiempo este debe ser capaz de adquirir una cohesión y resistencia, esto va a depender en gran medida de la buena compactación que se le realice, que lo hagan apto para ser empleado en la gran variedad obras de ingeniería como autopistas, calles, puentes, túneles, presas, grandes edificios, etc.

---

<sup>14</sup> "ALBAÑILERÍA RECICLADA PARA LA FABRICACIÓN DE HORMIGÓN." GERMAN ORLANDO SILVA CALFUEQUE VALDIVIA, Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela Ingeniería en Construcción 2007

Al unirse el cemento con el agua, se inicia un proceso químico denominado hidratación, del cual resulta el endurecimiento gradual del hormigón. Es importante destacar que este endurecimiento puede continuar indefinidamente en el tiempo bajo condiciones favorables tanto de humedad como de temperatura, lo cual se traduce en un aumento de la capacidad resistente del hormigón. Una de las propiedades más notables y por supuesto la más importantes de las muchas que tiene el hormigón es su resistencia, la que puede ser predeterminada y está directamente relacionada con las características de sus materiales componentes. Si se mezclan los materiales en las proporciones adecuadas, el hormigón puede soportar fuerzas de compresión elevadas. Su resistencia longitudinal es baja, pero reforzándolo con acero y a través de un diseño adecuado se puede hacer que la estructura sea tan resistente a las fuerzas longitudinales como a la compresión.

Otras de las características que han hecho del hormigón un material ampliamente utilizado en la construcción de diversas obras de ingeniería son:

- Facilidad de producción utilizando materiales de amplia difusión en cualquier país del mundo.
- Facilidad para conferir cualquier forma, gracias a la plasticidad que posee este en su etapa inicial.
- Posibilidad de prever y adaptar sus características a cualquier tipo de exigencia.
- Posibilidad de construcción utilizando recursos simples o complejos según la naturaleza de la obra.
- Buena durabilidad y resistencia a la corrosión, a condiciones ambientales desfavorables y al fuego.

## **2.7. Hormigón convencional**

El hormigón convencional, es una mezcla de cemento, arena, gravilla, agua y aditivo que posee la cualidad de endurecer con el tiempo, adquiriendo características que lo hacen de uso común en la construcción debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad.

El proceso de fabricación implica mezclar estos componentes en proporciones adecuadas, permitiendo que el cemento se hidrate y endurezca, formando una masa

sólida. Este tipo de hormigón es común en estructuras como cimientos, paredes, pavimentos y puentes. Su resistencia puede variar dependiendo de la relación entre los materiales y el tipo de cemento utilizado.

### **Ventajas**

- ✚ El control de calidad de las materias primas y el producto final es riguroso, y con la más moderna tecnología.
- ✚ El producto es totalmente garantizado.
- ✚ Las dosificaciones se realizan por peso, controlando los cambios en agregados por humedad y absorción, en plantas totalmente computarizadas.
- ✚ El hormigón es mezclado en planta y llega a la obra listo para ser usado.
- ✚ Se utiliza la más moderna tecnología en la producción y el control de calidad.

### **Hormigón 21 MPa**

El hormigón 21MPa se refiere a una mezcla de hormigón diseñada para alcanzar una resistencia de 21MPa (mega pascales) a la compresión a los 28 días de curado<sup>15</sup>. El hormigón con una resistencia de 21MPa es una mezcla de resistencia media que se utiliza para muchas aplicaciones estándar en construcción. Este tipo de hormigón es adecuado para:

- **Losas de piso** (en viviendas y edificios)
- **Cimientos o zapatas** (en estructuras residenciales o comerciales)
- **Paredes de carga** (en edificaciones con requisitos de resistencia moderada)
- **Columnas** (en estructuras que no requieren resistencias muy altas)

Dado que la cantidad de agua afecta directamente la trabajabilidad y la resistencia final del hormigón, en estos casos se debe mantener una relación agua-cemento (a/c) más baja para obtener una mayor resistencia. Se pueden añadir aditivos para mejorar la trabajabilidad, tiempo de fraguado, o la resistencia a condiciones climáticas específicas.

---

<sup>15</sup> [www.cementosinka.com](http://www.cementosinka.com), 2019

### **2.7.1. Materiales componentes del hormigón**

Los materiales componentes del hormigón son

#### **a) Cemento**

El cemento es un polvo finísimo de color gris que al ser mezclado con agua endurece tanto bajo el agua como al aire, por la cualidad de endurecer bajo el agua es definido como un conglomerante hidráulico, su velocidad de endurecimiento depende de la temperatura a la cual se esté trabajando.

#### **b) Áridos.**

Los áridos se pueden definir como el material pétreo compuesto de partículas duras, de forma y tamaños estables, ocupan entre el 65 y el 75% de volumen total de hormigón. Es de gran importancia su elección y control ya que de sus características dependerá la docilidad del hormigón fresco y la posterior resistencia que alcance una vez endurecido, también de sus condiciones dependerá la durabilidad de las estructuras y la economía de sus mezclas, en conclusión, de sus características dependerá la calidad final del hormigón.

#### **c) Agua.**

La presencia del agua es imprescindible en la confección de los hormigones, ya que tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de mezclas, otorgándole trabajabilidad al hormigón fresco y como medio de curado en las estructuras recién construidas, proceso que consiste en lograr que el material disponga del agua que necesita el cemento para hidratarse y mantenerse en condiciones moderadas de temperatura. Como componente del hormigón convencional el agua representa aproximadamente entre el 10 y el 25% del volumen del hormigón recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo del agregado que se utilice y de la docilidad que se requiera.

## **2.7.2. Propiedades del hormigón fresco**

Si bien el hormigón fresco tiene solamente interés pasajero, debemos notar que el grado de compactación afecta, y seriamente, la resistencia del hormigón de proporciones de mezclas dadas. Por lo tanto, es vital que la consistencia de la mezcla, sea tal que el hormigón se pueda transportar, colocar, compactar y acabar con suficiente facilidad y sin segregación (Carrasco, 2013)<sup>16</sup>.

Entre las propiedades del hormigón fresco tenemos:

### **2.7.2.1. Trabajabilidad**

La facilidad de colocación, consolidación y acabado del hormigón fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad. El hormigón debe ser trabajable pero los ingredientes no deben separarse durante el transporte y el manoseo.

Los factores que influyen en la trabajabilidad del hormigón son: (1) el método y la duración del transporte; (2) cantidad y características de los materiales cementantes; (3) consistencia del hormigón (asentamiento en cono de Abrams o revenimiento); (4) tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos; (5) aire incluido (aire incorporado); (6) cantidad de agua; (7) temperatura del hormigón y del aire y (8) aditivos.

La distribución uniforme de las partículas de agregado y la presencia de aire incorporado ayudan considerablemente en el control de la segregación y en la mejoría de la trabajabilidad.

Las propiedades relacionadas con la trabajabilidad incluyen consistencia, segregación, movilidad, sangrado (exudación) y facilidad de acabado. La consistencia es considerada una buena indicación de trabajabilidad<sup>17</sup>. El asentamiento en cono de Abrams se usa como medida de la consistencia y de la humedad del hormigón. Un hormigón de bajo revenimiento tiene una consistencia rígida o seca. Si la consistencia es muy seca y rígida, la colocación y compactación

---

<sup>16</sup> PROPIEDADES DE LA MEZCLA FRESCA DE HORMIGÓN, Ing. Ma. Fernanda Carrasco Tecnología del hormigón Página, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Santa Fe 2013

<sup>17</sup> Fundamentos del hormigón, Eusebio Chura Oscacopa.

del hormigón serán difíciles y las partículas más grandes de agregados pueden separarse de la mezcla. Sin embargo, no debe suponerse que una mezcla más húmeda y fluida es más trabajable. Si la mezcla es muy húmeda, pueden ocurrir segregación y formación de huecos. La consistencia debe ser lo más seca posible para que aún se permita la colocación empleándose los equipos de consolidación disponibles.

De acuerdo a su consistencia los hormigones se clasifican en secos, plásticos, blandos, fluidos y líquidos.

**Tabla 2.5. Clasificación del hormigón según su Consistencia**

Consistencia	Asentamiento con Cono de Abrams
Seca	0 – 2 cm
Plástica	3 – 5 cm
Blanda	6 – 9 cm
Fluida	10 – 15 cm
Líquida	$\geq 16$ cm

*Fuente: Hormigones de alta trabajabilidad*

### 2.7.2.2. Docilidad

La docilidad puede considerarse como la aptitud de un hormigón para ser puesto en obra con los medios de compactación de que se dispone<sup>18</sup>. Esta trabajabilidad está relacionada con la consistencia y la homogeneidad. La docilidad depende también de otros factores:

- La cantidad de agua de amasado, cuanto mayor sea este mayor será la docilidad.
- La granulometría, siendo más dóciles los hormigones cuyo contenido en arena es mayor. Por otra parte, a más cantidad de arena fina corresponde más agua de amasado.
- La forma de los agregados, la docilidad en el hormigón es mayor con agregados redondeados que con agregados triturados.

<sup>18</sup> Propiedades del hormigón, universidad nacional de asunción.

- La docilidad aumenta con el contenido de cemento y con la finura de este.

### **2.7.2.3. Homogeneidad**

Es la cualidad por la cual los diferentes componentes del hormigón aparecen distribuidos uniformemente en toda la masa. La Homogeneidad puede perderse por segregación.

Entre los factores que hacen variar la homogeneidad del hormigón tenemos:

- Cantidad de agua de amasado.
- Tamaño máximo del árido grueso.
- Con las vibraciones o sacudidas durante el transporte del hormigón.

### **2.7.2.4. Peso específico**

Es una propiedad de gran interés como índice de la uniformidad del hormigón fresco en el transcurso de ejecución de una obra, ya sea compactado o sin compactar<sup>19</sup>. La variación de ambos repercute en la consistencia; indica una variación en la granulometría de los áridos, del contenido del cemento o del agua de amasado, por lo que debe dar lugar a correcciones oportunas.

### **2.7.3. Propiedades del hormigón endurecido**

El hormigón experimenta un proceso de endurecimiento progresivo que lo transforma de un material plástico a un material sólido, producido por un proceso físico – químico complejo de larga duración<sup>20</sup>.

En esta etapa, las propiedades del hormigón evolucionan con el tiempo, dependiendo de las características y proporciones de los materiales componentes y de las condiciones ambientales a que estará expuesto durante su vida útil.

Estas propiedades son: la densidad, la resistencia, las variaciones de volumen y las propiedades elásticas del hormigón endurecido.

---

<sup>19</sup> Conceptos fundamentales de tecnología de hormigón.

<sup>20</sup> Propiedades del Hormigón Endurecido, Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile

### **2.7.3.1. Peso específico**

El peso específico del hormigón endurecido depende de muchos factores principalmente la naturaleza de los agregados, granulometría y método de compactación empleado.

El peso específico del hormigón será tanto mayor sea el de los agregados utilizados y mayor cantidad de agregado grueso contenga, bien clasificado y tanto mayor cuanto mejor compactado este. De todas formas, las variaciones de peso específico del hormigón son pequeñas, pudiendo tomarse en los cálculos de 2,3 Tn/m<sup>3</sup> para hormigón armado.

### **2.7.3.2. Compacidad**

La compacidad está íntimamente ligada al peso específico depende sobre todo del método de consolidación empleado. Estos métodos de consolidación tienen por objeto introducir en un volumen determinado la mayor cantidad de árido y al mismo tiempo que los huecos dejados por estos se rellenen con la pasta de cemento eliminando por completo las burbujas de aire.

Una buena compacidad no solo proporciona una mayor resistencia mecánica (impactos desgaste, etc.) sino también una mayor resistencia física (helada) y química frente a los agentes exteriores.

### **2.7.3.3. Permeabilidad**

El hormigón es un material permeable, es decir que, al estar sometido a presión de agua exteriormente, se produce escurrimiento a través de su masa.

El grado de permeabilidad del hormigón depende de su constitución, estando normalmente comprendido su coeficiente de permeabilidad entre  $10^{-6}$  y  $10^{-10}$  cm/seg.

Las medidas que pueden planearse para lograr un mayor grado de impermeabilidad son:

- Utilizar la razón agua/cemento más baja posible, compatible con la obtención de una trabajabilidad adecuada para el uso en obra del hormigón.
- Utilizar la dosis de cemento más baja posible, compatible con la resistencia y otras condiciones que establezcan las especificaciones del proyecto.

- Emplear un contenido apropiado de granos finos, incluido los aportados por el cemento, para lograr un buen relleno del esqueleto de áridos del hormigón. La cantidad ideal de granos finos puede establecerse a partir de los métodos de dosificación granulométricos.

#### **2.7.3.4. Resistencia**

La resistencia del hormigón es el factor que se emplea habitualmente para definir su calidad. El hormigón, como material constituyente de un elemento estructural, queda sometido a las tensiones derivadas de las sollicitaciones que actúan sobre éste. Si sobrepasan su capacidad resistente se producirán fracturas, primero de origen local y posteriormente generalizadas, que podrán afectar la seguridad de la estructura.

Por este motivo, los elementos estructurales deben ser dimensionados de manera que las tensiones producidas no sobrepasen la capacidad resistente del material constituyente, lo cual muestra la importancia de conocer esta característica.

La resistencia se puede medir mediante ensayos a compresión, tracción directa, flexión y tracción indirecta. Aunque por lo general se emplea ensayos de ruptura a la compresión.

Algunos de los factores que influyen en la resistencia del hormigón son.

- La calidad del cemento.
- La calidad del agua.
- La calidad de los áridos.
- El uso de aditivos.
- El tiempo de amasado.
- La relación agua/cemento.
- Edad de ensayo.

#### **2.7.4. Características mecánicas del hormigón**

##### **2.7.4.1. Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del hormigón. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área,

y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm<sup>2</sup>, MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi) (SALAMANCA, 2019)<sup>21</sup>.

El ensayo universalmente conocido para determinar la resistencia a la compresión, es el ensayo sobre probetas cilíndricas elaboradas en moldes especiales que tienen 150 mm de diámetro y 300 mm de altura.

La resistencia a la compresión de las mezclas de hormigón se puede diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad, que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura.

La resistencia a la compresión del hormigón es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras.

#### **2.7.4.2. Resistencia a tracción por flexión**

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del hormigón. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de hormigón no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de hormigón de 6 x 6" de sección transversal y con una luz de como mínimo de tres veces el espesor<sup>22</sup>. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (R) en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 carga en los puntos tercios.

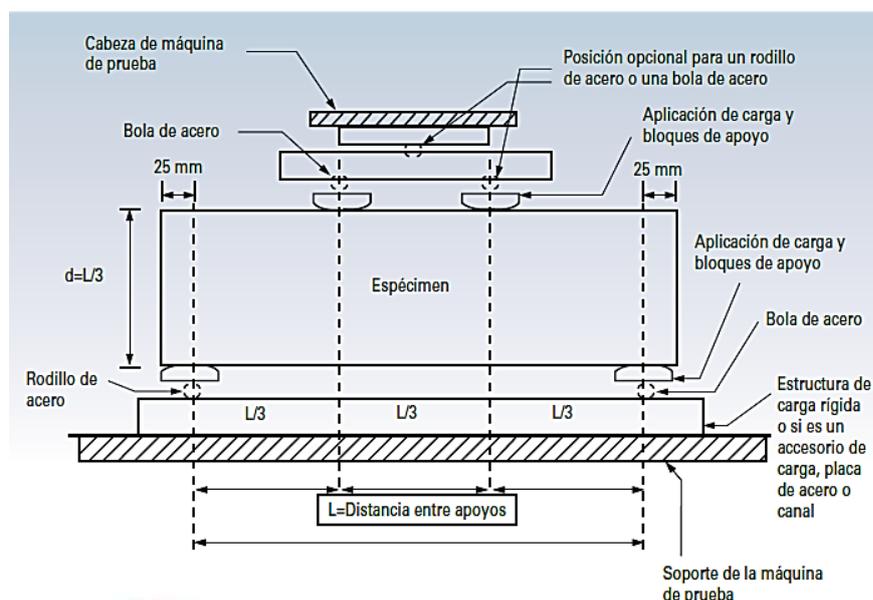
El módulo de rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, sin embargo, la mejor correlación para los materiales dados y el diseño de la mezcla.

---

<sup>21</sup> Resistencia del concreto a compresión y flexión, salamanca, Ing. Gonzalo Riaño universidad pedagógica y tecnológica de Colombia facultad de ingeniería escuela de ingeniería civil mecánica de solidos 2019.

<sup>22</sup> CIP 16 - Resistencia a Flexión del concreto, National Ready Mixed Concrete Association

**Figura 2.16. Aparato para la prueba de resistencia a la flexión con carga en los tercios del claro**



*Fuente: Determinación del esfuerzo a la flexión del hormigón ASTM C78*

## 2.7.5. Ensayos estándar en hormigón

### 2.7.5.1. Determinación de la Resistencia del hormigón a tracción.

Este ensayo tiene la finalidad la determinación de la resistencia del hormigón usando vigas, cuando la carga es aplicada en los puntos tercios de la longitud de la luz libre.

**Equipo.** - Máquina para ensayos de flexión que se pueda aplicar las cargas en los puntos tercios de longitud de la luz libre.

**Preparación.** - Las muestras se preparan como se indica en el punto 2.1.5.2. la longitud de la luz libre de los especímenes deben ser 3 veces la altura de la sección transversal en este caso 6"x6"x18".

**Procedimiento.** -

- ~ Se coloca el espécimen en la maquina en posición horizontal, luego se baja la parte superior de la maquina hasta hacer contacto con el espécimen. Si el contacto entre los bloques de la máquina y espécimen son deficientes, se deben emparejar la viga hasta remediar esta situación. Se puede usar pasta de cemento y agua con este fin.

- ~ La carga se debe aplicar rápidamente aumentando hasta alcanzar aproximadamente el 50% de la carga que resiste la viga, luego se aplica 150Lb\*Plg2 por minuto.
- ~ Una vez que el espécimen haya fallado se medirá el espesor y altura de la viga en el sitio donde se produjo la ruptura con una aproximación de 0.1.

### **Cálculos. -**

Cuando la ruptura ocurre en el tercio del medio de la luz del espécimen, el módulo de ruptura se calcula de acuerdo con las siguientes formula:

#### **Ecuación: Ensaye de tracción por flexión**

$$R = \frac{P * l}{b * d^2}$$

*Fuente: Manual de ensayos de suelos y materiales \*hormigones*

Siendo:

R= Modulo de ruptura en lb/pulg2.

P= Carga máxima aplicada en el ensayo en lbs.

l= Luz libre del espécimen en pulg.

b=espesor promedio del espécimen en pulg.

d= Altura promedio del espécimen en pulg.

Si la ruptura ocurre fuera del tercio central de la luz del espécimen y la distancia de la ruptura al tercio central no es más del 5% de la luz libre de la viga, el módulo de ruptura se calcula de acuerdo a la siguiente formula.

#### **Ecuación: Ensaye de tracción por flexión**

$$R = \frac{3 * P * a}{b * d^2}$$

*Fuente: Manual de ensayos de suelos y materiales \*hormigones*

Siendo:

$a$ = la diferencia entre el sitio de la factura y el soporte más cercano, medida a lo largo de la línea del centro de la superficie inferior del espécimen, en pulg.

Si la ruptura ocurre fuera del tercio central y la distancia de ruptura al tercio central es más del 5% de la luz de la viga, los resultados deberán ser despreciados.

## **2.8. Estudio de los agregados**

Porque al menos tres cuartas partes del volumen del hormigón están ocupados por agregados, no es de extrañar que la calidad de este sea de suma importancia<sup>23</sup>. Los agregados no solo pueden limitar la resistencia del hormigón, puesto que agregados débiles no pueden constituir un hormigón resistente, sino además sus propiedades afectan en gran medida tanto la durabilidad como el comportamiento del hormigón.

### **2.8.1. Clasificación general de los agregados**

Los tamaños de agregados utilizados en el hormigón están en el rango de unos milímetros hasta partículas pequeñísimas de decima de milímetro. El tamaño máximo que se usa en la realidad varia, pero en cualquier mezcla se incorpora partículas de diverso tamaño<sup>24</sup>.

#### **Clasificación según su tamaño**

La opción más común en la fabricación de hormigón de buena calidad es obtener agregados en al menos dos grupos de tamaño; la división principal se hace entre agregado fino, llamado a menudo arena es la proporción que pasa el tamiz No 4 y agregado grueso, que es la proporción de agregado o árido que queda retenido en el tamiz No4.

---

<sup>23</sup> Durabilidad del concreto con agregados de alta absorción, Ing. invest. y tecnol. Ciudad de México 2019

<sup>24</sup> Agregados para Concreto, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas 2022.

**Tabla 2.6. Clasificación de los agregados según su tamaño.**

Tamaño de partículas (mm)	Denominación	Clasificación general	Aceptación como agregado para H°
< 0.002	Arcilla	Fracción muy fina	No recomendado
0.002-0.074	Limo	Fracción muy fina	No recomendado
No 200-No 4	Arena	Agregado fino	Apto
No 4-3/4"	Gravilla	Agregado grueso	Apto
3/4"-2"	Grava	Agregado grueso	Apto
2"-6"	Piedra	Agregado grueso	-
> 6"	Piedra bola	Agregado grueso	-

Fuente: [http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/ingenieria\\_civil/tecnologia\\_del\\_hormigon\\_y\\_laboratorio/unidad\\_1/medios/documentacion/p8h8.php](http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/ingenieria_civil/tecnologia_del_hormigon_y_laboratorio/unidad_1/medios/documentacion/p8h8.php)

### Clasificación según su procedencia

Todas las partículas de agregado natural proceden originalmente de una masa mayor. Es posible que dicha masa se haya fragmentado por procesos naturales, como con el intemperismo o la abrasión, o fragmentación haya sido artificial, mediante trituración<sup>25</sup>.

## 2.8.2. Propiedades físicas de los agregados

### 2.8.2.1. Forma y textura

**Forma.** - Los agregados de río o depósito tienen formas de canto redondeados o aplanadas. En términos generales, se puede decir que los agregados procedentes de piedra naturales sometidas a un proceso de trituración y clasificación, tienen formas geométricas que varían desde las aproximadamente cúbicas, a las esquirlas alargadas.

<sup>25</sup> Materiales de construcción, Ing. José Luis Ríos Rabelo universidad andina del cusca escuela profesional de ingeniería civil

**Tabla 2.7. Clasificación de los agregados según su forma.**

Textura superficial	Características
Vítrea	Fractura de concha
Lisa	Desgastada por el agua o lisa debida a fractura de roca laminada
Granular	Fractura que muestra granos más o menos redondeados en forma uniforme
Áspera	Fractura áspera de roca de granos finos, que contengan partes cristalinas difíciles de detectar
Cristalina	Con partes cristalinas fáciles de detectar
En forma de panal	Con vacíos y poros visibles

*Fuente: Instituto del hormigón (1997)*

**Textura.** - La textura incide notablemente en las propiedades del hormigón, especialmente en la adherencia entre partículas del agregado y la pasta de cemento fraguado, y gobierna las condiciones de fluidez mientras la mezcla se encuentra en estado plástico.

**Tabla 2.8. Textura superficial de los agregados.**

Textura superficial	Características
Vítrea	Fractura de concha
Lisa	Desgastada por el agua o lisa debida a fractura de roca laminada
Granular	Fractura que muestra granos más o menos redondeados en forma uniforme
Áspera	Fractura áspera de roca de granos finos, que contengan partes cristalinas difíciles de detectar
Cristalina	Con partes cristalinas fáciles de detectar
En forma de panal	Con vacíos y poros visibles

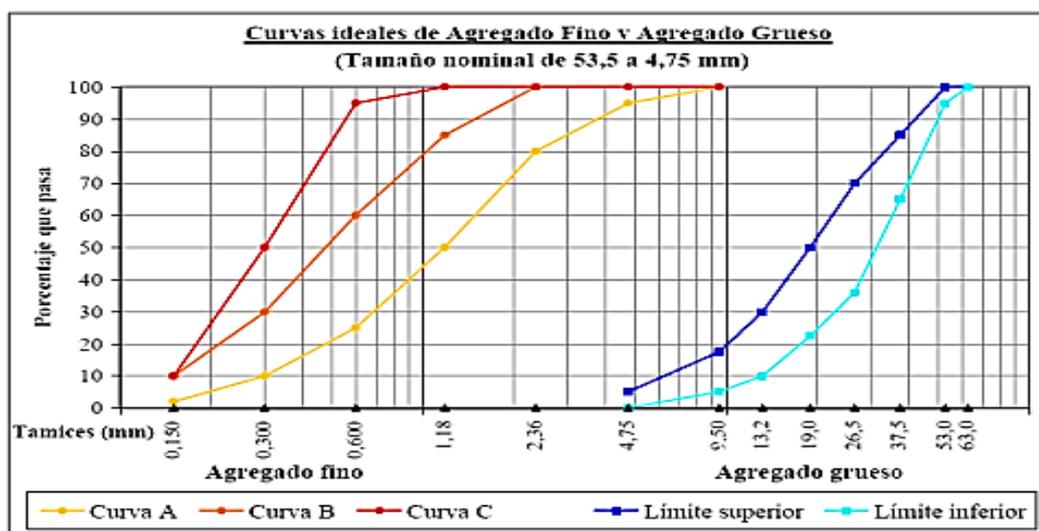
*Fuente: Instituto del hormigón (1997)*

### 2.8.2.2. Granulometría

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado. Se determina por análisis de tamices, el tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas<sup>26</sup>.

En general, no es necesario mantenerse estrictamente en curvas ideales, además es difícil lograrlo y por otra parte resultaría antieconómico. Lo corriente es tratar de conseguir un material cuya curva granulométrica esté comprendida entre dos curvas límites que se suelen establecer en reglamentos o normas o en los pliegos de las condiciones de las obras.

**Figura 2.17. Zonas granulométrica IRAM – CIRSOC.**



*Fuente: Curvas ideales para mezclas de áridos*

La granulometría de los agregados influye sobre:

- ~ Trabajabilidad de la mezcla fresca.
- ~ Resistencia mecánica.
- ~ Resistencia a los agentes químicos.
- ~ Economía.

<sup>26</sup> Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso, universidad centroamericana "José Simeón cañas"

De allí la importancia de lograr esqueletos granulares compactos. En general podemos afirmar que para cada tipo de obra existe una granulometría característica u óptima.

### Granulometría del agregado grueso

El agregado grueso tendrá una granulometría continua y comprendida dentro de los límites que se establecen en la tabla 2. El agregado que no cumpla lo dispuesto anteriormente será rechazado.

**Tabla 2.9. Granulometría del agregado grueso.**

tamaño nominal (mm)	porcentaje en masa, acumulado, que pasa por los tamices IRAM de mallas cuadradas									
	63mm	53mm	37,5mm	26,5mm	19mm	13,2mm	9,5mm	4,75mm	2,36mm	1,18mm
53 a 4,75	100	95 a 100	-	-	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-
37,5 a 4,75	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
26,5 a 4,75	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-
19 a 4,75	-	-	-	100	95 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-
13,2 a 4,75	-	-	-	-	95 a 100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-
53 a 26,5	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
37,5 a 19	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-
9,5 a 2,36	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

*Fuente: Curvas ideales para mezclas de áridos*

### Tamaño máximo (TM)

Se define como la abertura del menor tamiz por el cual pasa el 100% de la muestra.

### Tamaño Máximo Nominal (TMN)

El tamaño máximo nominal es otro parámetro que se deriva del análisis granulométrico y está definido como el siguiente tamiz que le sigue en abertura (mayor) a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más.

### Módulo de Finura (MF)

El módulo de finura es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumplan con la relación 1:2 desde el tamiz # 100 en adelante hasta el tamaño máximo presente y dividido en 100.

### Ecuación módulo de finura

$$MF = \frac{\Sigma\%(1\ 1/2'' + 3/4'' + 3/8'' + \#4 + 500)}{100}$$

*Fuente: Análisis granulométrico y módulo de fineza del agregado fino y grueso*

Se considera que el MF de una grava adecuada para producir hormigón debe estar entre 5.5 y 8.5.

### Granulometría del agregado fino

El agregado fino tendrá una curva granulométrica continua, comprendida dentro de los límites que determinan las curvas A y B. El agregado fino de la granulometría especificada podrá obtenerse por mezcla de dos o más arenas de distintas granulometrías. Los porcentajes de la curva A indicados para los tamices 300 m y 150m, pueden reducirse a 5% y 0%, respectivamente<sup>27</sup>.

Si la granulometría del agregado excede hasta un total de diez unidades porcentuales los límites de la granulometría B en los tamices N° 16, N° 30 y N° 50, se considerará apto. La suma de las diez unidades puede comprender un solo tamiz o formarse por suma de unidades que exceden los límites de más de uno de los tres tamices mencionados. En obras de tipo corriente donde se realice control de calidad de hormigones en obra, podrán aceptarse arenas naturales que excedan la granulometría B, pero sin superar la granulometría C.

**Tabla 2.10. Granulometría del agregado fino.**

Tamices	Porcentaje máximo que pasa acumulado en masa		
	Curva A	Curva B	Curva C
9,5 mm (3/8")	100	100	100
4,75 mm (N°4)	95	100	100
2,36 mm (N°8)	80	100	100
1,18 mm (N°16)	50	85	100
600 µm (N°30)	25	60	95
300 µm (N°50)	10	30	50
105 µm (N°100)	2	10	10

*Fuente: Curvas ideales para mezclas de áridos*

<sup>27</sup> Agregados o Áridos, Ayelen Jalil

Fórmula:

### Ecuación del % del agregado fino

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso del Material retenido en tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{PASA} = 100 - \% \text{Retenido Acumulado}$$

*Fuente: Análisis granulométrico y módulo de fineza del agregado fino y grueso*

### Módulo de Finura (MF)

El módulo de finura es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumplan con la relación 1:2 desde el tamiz N° 100 en adelante hasta el tamaño máximo presente y dividido en 100.

### Ecuación módulo de finura

$$MF = \frac{\Sigma\%(3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

*Fuente: Análisis granulométrico y módulo de fineza del agregado fino y grueso*

**Tabla 2.11 Clasificación de la arena por módulo de finura.**

<b>Gruesa</b>	2.9 a 3.2
<b>Media</b>	2.2 a 2.9
<b>Fina</b>	1.5 a 2.2
<b>Muy Fina</b>	Menos de 1.5

*Fuente: <https://es.scribd.com/doc/35644551/modulo-de-finura>*

Se considera que el MF de una arena adecuada para producir hormigón debe estar entre 2.2, y 3.2.

### Análisis Granulométrico de los agregados grueso y fino

Este método de ensayo abarca el procedimiento para la determinación de los tamaños de las partículas de los agregados.

**Equipo.** - Juego de tamices, brocha para limpiar los tamices, balanza.

**Preparación de la muestra.** -

- ~ La muestra debe ser representativa, la cual se obtiene por cuarteo.
- ~ El peso de la muestra de agregado fino necesario para el ensayo deberá ser unos 500 gramos.
- ~ El peso de la muestra de agregado grueso necesario para el ensayo deberá estar de acuerdo con el siguiente cuadro:

**Tabla 2.12. Pesos mínimos según el tamaño de las partículas.**

Tamaño máximo nominal (mm)	Tamaño mínimo de la muestra de prueba (kg)
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100

*Fuente: Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso*

**Procedimiento.** -

**Análisis sin lavado:**

- ~ Se pone a secar la muestra en el horno a 105 °C, durante al menos 12 horas. se deja enfriar a temperatura ambiente y se pasa la cantidad requerida para la prueba.
- ~ Se coloca el juego de tamices desde el tamaño correspondiente al tamaño máximo hasta el tamiz 200 y al final la base.
- ~ Se agita el juego de mallas, horizontalmente con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado depende de la cantidad de finos en la muestra, pero por lo general debe ser mayor a 15 minutos.

- ~ Se quita la tapa y se separa la malla, vaciando la fracción de suelo que haya sido retenida en ella, a las partículas que han quedado trancada entre los hilos de la malla no hay forzarlos a pasar, inviértase el tamiz y con ayuda de una brocha y se agrega a las anteriores.
- ~ Se pesa cuidadosamente la fracción de la muestra obtenida anteriormente, se pone en una capsula.
- ~ Se hacen las pesadas de las fracciones retenidas en cada malla y en la base del fondo, procediendo en la forma indicada. Todos los pesos retenidos se anotan en el registro.

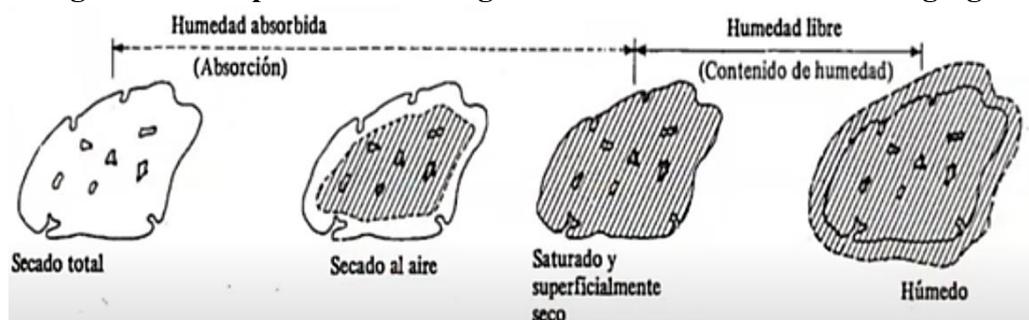
#### **Análisis con lavado:**

- ~ Se vacía la muestra sobre el tamiz N° 200, con la ayuda del agua se lava lo mejor posible, para que las partículas finas pasen por la malla. Cuando el agua ya no sale sucia sino clara se coloca lo que se quedó retenido en el tamiz N°200 en un recipiente para llevarlo al horno para su secado. Después de 24 horas se pesa la muestra seca.

#### **2.8.2.3. Peso específico y Absorción de agua**

Debido a que el agregado suele tener poros permeables e impermeables como se muestra en la figura 2.15. será necesario definir con cuidado el significado de peso específico, ya que existen diversos tipos de pesos específicos<sup>28</sup>.

**Figura 2.18. Representación diagramática de la humedad en el agregado.**



Fuente: [https://www.ucursos.cl/ingenieria/2009/2/CI52C/1/material\\_docente/bajar?id\\_material=249010](https://www.ucursos.cl/ingenieria/2009/2/CI52C/1/material_docente/bajar?id_material=249010)

<sup>28</sup> Peso Específico y Absorción, Franz Perez Valdez

**Peso específico absoluto**

Se refiere al volumen del material sólido que excluye todos los poros. Se define como la relación de la masa del sólido respecto de la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gases, tomadas ambas a una misma temperatura. Este valor no se lo requiere en trabajos de tecnología del hormigón.

**Peso específico bruto en base a muestra Saturada y superficialmente seco**

Esta referido al peso de una muestra S.S.S. dividida entre el volumen de la misma contemplando los poros.

Este es el peso específico que se determina con más frecuencia y que es necesario para calcular la cantidad de agregado que se requiere para producir un determinado volumen de hormigón; ya que el agua que contienen todos los poros no toma parte en la reacción química del cemento.

**Peso específico bruto en base a muestra seca**

Esta referido al peso de una muestra seca dividida entre el volumen de la misma contemplando los poros (permeables e impermeables).

**Peso específico aparente**

Si se considera que el volumen del sólido debe incluir los poros impermeables, la palabra aparente califica el peso específico resultante; entonces este resulta:  $\text{Peso seco/volumen partículas sólidas (incluyendo los poros impermeables)}$ .

**Porosidad y absorción**

La porosidad está relacionada con la capacidad de absorción de agua u otro líquido dentro de los agregados según el tamaño de los poros, su continuidad (permeabilidad) y su volumen total. En la práctica, lo que se mide para cuantificar la influencia de la porosidad dentro del agregado, su capacidad de absorción, ya que las partículas de los agregados pueden pasar por cuatro etapas como se ve en la figura 2.18.

La porosidad, es muy importante porque una partícula porosa es mucho menos dura que una partícula compacta o maciza, lo cual afecta no solo las propiedades

mecánicas como la adherencia y la resistencia a compresión y flexión sino también propiedades de durabilidad.

### **Determinación de peso específico y absorción del agregado grueso**

El ensayo que a continuación se describe tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y peso específico a granel.

**Equipo.** - Cesto cilíndrico de tela metálica de 20 cm de diámetro y de 20 cm de altura, un recipiente en el que se pueda sumergir la cesta de alambre y un aparato para suspender la cesta cuando se sumerge.

### **Procedimiento.** -

- ~ Se lava el material a fin de remover el polvo o cualquier impureza, luego se sumerge la muestra con agua por un periodo de 24 horas.
- ~ Se saca la muestra del agua y se secan las partículas con una toalla hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie. Se deberá evitar la evaporación durante esta operación.
- ~ Se obtiene después el peso de la muestra con sus partículas saturadas.
- ~ La muestra se vuelve a sumergir después de ser pesada y se determina el peso de la muestra así sumergida.
- ~ Se seca la muestra en un horno a temperatura constante y luego se deja enfriar y se pasa.

**Muestra.** - La muestra consiste aproximadamente de 5 kg de material separado por cuarteo y de manera que todo el material quede retenido en el tamiz de 3/8”.

Cálculos. -

### **Ecuación peso específico y absorción del agregado grueso.**

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{B - C}$$

$$\text{Peso específico en condiciones saturado y superficie seca} = \frac{B}{B - C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A - C}$$

$$\% \text{ de absorcion} = \frac{B - A}{A} * 100$$

*Fuente: Peso específico-y-absorción de agregado grueso.*

Siendo:

A= Peso de la muestra secada en horno, en gr.

B= Peso de la muestra saturada, pero con superficie seca, en gr.

C= P eso de la muestra saturada dentro del agua, en gr.

### **Determinación de peso específico y absorción del agregado Fino**

**Equipo.** - Matraz de 500 ml de capacidad, molde cónico y una varilla.

**Muestra.** - Se seleccionará una muestra de 1 kg que puede ser obtenida por cuarteo, luego se lo coloca dentro de un recipiente lleno de agua y se deja allí por 24 horas.

### **Procedimiento.** -

- ~ Se saca la muestra del recipiente y se seca de manera uniforme.
- ~ Con el fin de inspeccionar que tan seca esta la muestra se coloca en el molde cónico y luego se retira este. Si la muestra tiene todavía alguna humedad de la superficie ha sido eliminada, la arena redara libremente cuando se levanta el cono.
- ~ Por lo general si la arena rueda libremente la primera vez que se coloca el cono, esto es indicación de que la muestra ha sido secada más de lo necesario y que ha perdido su condición de saturada; por consiguiente, se deberá rociar con agua y dejarla reposar por 30 minutos antes de volver a colocar en el cono.
- ~ Se colocan 500 gr. De la muestra en el matraz y luego se llena este con agua hasta el tope. Con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz sobre sí mismo y luego se obtiene el peso del matraz lleno.
- ~ Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno de temperatura constante y se pesa.

**Cálculos. -**

**Ecuación peso específico y absorción del agregado fino**

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{V - W}$$

$$\text{Peso específico en condiciones saturado y superficie seca} = \frac{500}{V - W}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{500 - A}{A} * 100$$

*Fuente: Peso específico-y-absorción de agregado grueso.*

Siendo:

A= Peso en el aire de la muestra secada al horno, en gr.

V= Volumen del frasco, en ml.

W= P eso en gramos o volumen en ml del agua agregado al frasco.

**2.8.3.4. Peso unitario**

Si el peso de una muestra de agregado, compuesta por varias partículas, se divide por el volumen que ocupa esas partículas agrupadas dentro de un recipiente unitario, se obtiene lo que se denomina como peso unitario del agregado o peso volumétrico.

$$PU = \frac{P}{V}$$

Dónde:

P= Peso seco del material

V= Volumen del recipiente

El peso unitario es una propiedad física importante porque indica el grado de acomodamiento de las partículas y entre menor sea este menor será el volumen de vacíos entre partículas que hace que la mezcla sea más económica, porque habrá menor cantidad de huecos a ser llenados con pasta de cemento. Así mismo, mientras

mayor sea el peso unitario habrá mayor cantidad de granos la cual depende de la granulometría, forma, textura y tamaño de los mismos.

### **Peso unitario suelto (PUS)**

El concepto de PUS es importante cuando se trata del manejo, transporte y almacenamiento de los agregados debido a que estos se hacen en estado suelto.

### **Peso unitario compactado (PUC)**

El PUC es importante desde el punto de vista de diseño de mezclas ya que con él se determina el volumen absoluto de los agregados por cuanto estos van a estar sometidos a una compactación durante el proceso de colocación del hormigón.

### **Determinación del peso unitario de los agregados**

**Equipo.** - Una varilla de 5/8" de diámetro y unos 60 cm de largo, un juego de recipientes cilíndricos.

El tamaño del molde cilíndrico que se debe usar depende del tamaño máximo de las partículas.

Para agregados con partículas de un diámetro  $\leq 1/2$ " se usa un molde de 1/10 pie<sup>3</sup>.

Para agregados con partículas de un diámetro entre 1/2" y 1 1/2" se usa un molde de 1/2" pie<sup>3</sup>.

Para agregados con partículas de un diámetro  $\geq 1 1/2$ " se usa un molde de 1 pie<sup>3</sup>.

**Calibración de los moldes.** - los moldes deben ser calibrados con exactitud, determinando el peso del agua a 16,7 °C requeridos para llenarlos. El volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerida para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura.

**Preparación de la muestra.** - Se usa una muestra representativa del agregado a la humedad ambiente.

**Procedimiento. -****Peso Unitario Compactado:**

- ~ Se llena el molde hasta una tercera parte de su capacidad, nivelándose el agregado con las manos. Luego por medio de la varilla se apisona uniformemente esta capa 25 veces. No debe golpear el fondo del molde.
- ~ Se repite el procedimiento anterior dos veces hasta llenar el molde. Las partículas de la superficie se deben enrasar con la varilla teniendo en cuenta como guía el borde del molde.
- ~ Se pesa el molde junto con el agregado

**Peso Unitario Suelto:**

- ~ Se llena el recipiente de agregado hasta desbordar, dejando caer el agregado desde una altura no mayor de 5 cm. por encima del borde superior del recipiente. Se elimina el excedente del agregado con una regla. Luego pesamos del agregado en el recipiente.

**Cálculos. -** El peso neto del agregado se obtiene restando del peso del molde más la muestra compacta o suelta el peso del molde. El peso por unidad de volumen de la muestra se obtiene multiplicando su peso neto por el inverso del volumen del molde.

**2.8.3. Condiciones que deben cumplir los Áridos.**

Para su buena integración en el hormigón el árido debe cumplir, con todas las condiciones.

Las condiciones pueden resumirse en tres grupos:

**~ Docilidad.**

La docilidad es de gran importancia ya que de ella depende la facilidad que podamos obtener, para manejar el hormigón en estado fresco.

Es importante mencionar que está relacionada directamente con:

- La composición granulométrica que tengan los áridos.

- El contenido de granos finos.
  - Forma de los granos.
  - Porosidad.
- ~ **Resistencia Propia.**

El árido debe ser capaz de resistir condiciones ambientales y las tensiones para las cuáles será diseñado. Una forma indirecta de medir esta resistencia es someter la muestra a los ensayos de Desgaste de grava por el método de la máquina de los Ángeles.

~ **Estabilidad Físico-Química.**

El Árido debe ser capaz de soportar las condiciones físico-químicas provocadas por el ambiente al que será expuesto.

En su estabilidad química los áridos deberán presentar inalterabilidad ante los compuestos producidos durante el proceso de fraguado. Además, el árido no debe poseer productos nocivos que puedan alterar el proceso de fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento

#### **2.8.4. Funciones de los agregados**

El agregado dentro del hormigón cumple principalmente las siguientes funciones:

- ~ Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua) reduciendo el contenido de pasta en el metro cubico.
- ~ Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste que puedan actuar sobre el hormigón.
- ~ Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o calentamiento de la pasta.

#### **2.9. Dosificación del hormigón**

La dosificación de un hormigón tiene por objeto determinar las proporciones en que hay que mezclar los distintos componentes del mismo para obtener masas de hormigones que reúnan las características y propiedades exigidas en el proyecto

(JUÁREZ, 2013)<sup>29</sup>. Al dosificar un hormigón se tienen que tener en cuenta tres factores fundamentales: la resistencia, la consistencia y el tamaño máximo de los áridos.

Estos factores están relacionados con una variable que prácticamente determina las características finales de un hormigón; esta variable es la relación Agua/Cemento.

Existen varios métodos y reglas para determinar teóricamente las cantidades a mezclar de los componentes del hormigón, los cuales son orientativos, pues se basan en pruebas de laboratorio y de campo.

Es por ello que las proporciones de mezclado definitivas se deben encontrar en base a ensayos de laboratorio, introduciendo luego en obra las correcciones necesarias.

Antes de dosificar una mezcla, se debe tener conocimiento de la siguiente información:

- ~ Los materiales.
- ~ El elemento a vaciar, tamaño y forma de las estructuras.
- ~ Resistencia a la compresión requerida.
- ~ Condiciones ambientales durante el vaciado.
- ~ Condiciones a la que estará expuesta la estructura

### **Método del A.C.I.**

El método del American Concrete Institute (ACI) consta sintéticamente de los siguientes pasos:

- a) Selección de la resistencia requerida

---

<sup>29</sup> Apuntes de hormigón armado, Juárez, José Antonio López escuela politécnica superior universidad de alicante 2013

**Tabla 2.13 Resistencia de diseño.**

Resistencia específica $f'_c$ en (MPa)	Resistencia de diseño de la mezcla $f'_{cr}$ en (MPa)
Menos de 21	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
De 21 a 35	$f'_{cr} = f'_c + 8.5$
Más de 35	$f'_{cr} = 1.10 f'_c + 5.0$

*Fuente: Dosificación ACI 211.1*

- b) Selección del tamaño máximo y el tamaño máximo nominal de nuestro agregado.

**Tabla 2.14. Tamaño máximo del agregado**

Tamaños máximos de agregados	
1/3 de la altura de losas.	Para no crear cangrejas ni vacíos.
3/4 separación mínima entre armaduras.	Para lograr que el hormigón pueda ser vaciado sin segregación excesiva ni vacíos.
1/5 de la menor dimensión estructural.	Cuando se requiere hormigón de alta resistencia; utilizar agregados de tamaño máximo menor.

*Fuente: Dosificación ACI 211.1*

- c) Selección del asentamiento teórico de nuestra muestra con la siguiente tabla.

**Tabla 2.15. Asentamientos recomendados para diversos tipos de estructura.**

Tipo de estructura	Asentamiento Máximo (cm)	Asentamiento Mínimo (cm)
Zapatas y muros de cimentación reforzados	7,50	2,50
Cimentaciones simples y calzaduras	7,50	2,50
Vigas y muros armados	10	2,50
Columnas	10	2,50
Muros y pavimentos	7,50	2,50
Hormigón ciclópeo	7,50	2,50

*Fuente: Dosificación ACI 211.1*

d) Selección del contenido de aire atrapado.

**Tabla 2.16. Contenido de aire atrapado (sin aire incluido).**

Contenido promedio de aire en porcentaje según el nivel de exposición								
Exposición suave	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Exposición moderada	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Exposición severa	7,5	7,0	6,0	6,0	5,0	5,0	4,5	4,0

*Fuente: Dosificación ACI 211.1*

e) Estimación del agua de mezclado, la cantidad de agua por unidad de volumen de hormigón, requerida para producir un asentamiento dado depende del tamaño máximo, de la forma de la partícula y de la granulometría de los áridos, así como de la cantidad de aire incluido. En la tabla 2.17 se proporciona estimaciones con relación a la cantidad de agua en l/m<sup>3</sup> H° en función al asentamiento elegido y al tamaño máximo de los agregados.

Dependiendo de la forma y la textura del árido, los requerimientos de agua de mezclado pueden estar un tanto por encima o debajo de los valores tabulados, pero son suficientemente precisos para una primera estimación. Tales diferencias en los requerimientos de agua no se reflejan necesariamente en la resistencia, ya que existen otros factores compensatorios.

Tabla 2.17. Volumen de agua por m<sup>3</sup>.

Asentamiento	Agua, Kg/m <sup>3</sup> de hormigón según el tamaño máx. de árido							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
cm	9,5	12,5	19	25	37,5	50	75	150
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
<b>Hormigón sin aire incorporado</b>								
3 a 5	207	199	190	179	166	154	130	113
8 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 18	243	228	216	202	190	178	160	-----
Cantidad aprox. de aire, en hormigón sin aire incluido (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
<b>Hormigón con aire incorporado</b>								
3 a 5	181	175	168	160	150	142	122	107
8 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 18	216	205	197	184	174	166	154	-----
Promedio recomendado de contenido total de aire (%)	8	7	6	5	4,5	4	3,5	3

Fuente: Dosificación ACI 211.1

- f) Elección de la relación agua/cemento, sea por resistencia a compresión o por durabilidad. Los requerimientos de la relación agua/cemento se determinan no solo por los requerimientos de resistencia sino también por factores tales como la durabilidad y propiedades del acabado. Ya que los diferentes agregados producen resistencias distintas con la misma relación agua/cemento, es altamente recomendable desarrollar las relaciones de resistencia versus relación agua/cemento para los materiales a usarse. En ausencia de tal información pueden tomarse los valores aproximados y relativamente conservadores para hormigón de cemento portland tipo I que se indican en la tabla 2.18.

**Tabla 2.18. Relación agua/cemento en función a la resistencia.**

Correspondencia entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento para los Cemento, Pórtland Tipo I, en Hormigones sin Aire Incluido		
Resistencia a la compresión MPa	Relación agua-cemento en peso	
	Hormigón sin aire incorporado	Hormigón con aire incorporado
40	0,42	--
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,60
15	0,79	0,70

*Fuente: Dosificación ACI 211.1*

- g) Cálculo de la cantidad de cemento que se obtiene a partir de la relación agua/cemento y el contenido de agua. Si no obstante la especificación incluye por separado un límite mínimo de cemento además de los requerimientos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en aquel criterio que conduzca a la mayor cantidad de cemento.
- h) Estimación de la cantidad de agregado grueso, los áridos esencialmente similares en granulometría y en tamaño máximo producirán un hormigón de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplee un volumen determinado de árido grueso y seco, compactado con varilla, por volumen unitario de hormigón. En la tabla 2.19. se proporcionan los valores adecuados para este volumen de árido. Se puede observar que, para obtener una trabajabilidad similar, el volumen de árido grueso para un volumen unitario de hormigón solo depende de su tamaño máximo y del módulo de fineza del árido fino.

**Tabla 2.19. Volumen del agregado grueso por unidad de volumen del hormigón.**

TMN del agregado grueso (mm)	Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de hormigón para diversos módulos de fineza del agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9,5	0.5	0.48	0.46	0.44
12,5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37,5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

*Fuente: Dosificación ACI 211.1*

Estos volúmenes se convierten al peso seco del árido grueso requerido por metro cubico de hormigón multiplicándolos por el peso volumétrico del árido grueso, seco y compactado con varilla.

- i) Calcular la suma de los volúmenes absolutos de todos los materiales sin considerar el agregado fino.
- j) Cálculo del volumen del agregado fino, este método se basa en el uso de los volúmenes de los componentes. En este caso, el volumen total de los componentes conocidos (agua, aire, cemento y árido grueso) se resta el volumen unitario de hormigón para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen que cualquier componente ocupa en el hormigón es igual a su peso dividido entre el peso específico de este material (siendo este último producto del peso unitario del agua y la densidad del material).
- k) Cálculo del peso en estado seco del agregado fino, conociendo el volumen y el peso específico del agregado fino se procede al cálculo del peso seco del mismo (no se considera la humedad que este contiene).
- l) Una vez obtenidos los pesos y volúmenes correspondientes a todos los componentes del hormigón se hace dicha presentación tomando en cuenta

que los pesos de los agregados son pesos sin agua, es decir sin tomar en cuenta que el agregado en su estado natural contiene cierta cantidad de humedad dentro de sus partículas.

- m) Después conocidos los porcentajes de humedad y de absorción que son datos conocidos de los agregados determinados mediante laboratorio, se procede a realizar las respectivas correcciones a los agregados tomando en cuenta la humedad que estos contienen, y por último se hace la corrección de la cantidad de agua donde se toma en cuenta el porcentaje de humedad y absorción.
- n) Para después terminar con la presentación de los datos corregidos por el contenido de agua que contienen.

## **2.10. Curado del hormigón**

Los curados húmedos y prolongados son beneficiosos para el hormigón ya que dan lugar a una mayor hidratación del cemento con una gran formación de geles. Por tanto, al tener menos partículas que coarten la retracción, la pasta se hará más resistente con la edad y soportara mejor los esfuerzos generados por la retracción sin llegar a fisurarse

### **2.10.1. Razones para curar el hormigón**

En sentido práctico curar el hormigón es garantizar las condiciones óptimas de humedad y temperatura necesarias para que el hormigón desarrolle su resistencia potencial (compresión y tracción), se reduzca la porosidad de la pasta, en especial en el recubrimiento de hormigón sobre las armaduras, haciendo que el ingreso de humedad y agresivos hacia el interior del elemento de hormigón endurecido se vea disminuido garantizando, así, que la estructura cumpla con la vida útil de diseño requerida por el propietario<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup> Tecnología del concreto, Córdoba Calua Luis Herminio universidad nacional San Luis Goanzaga 2022

Un adecuado y oportuno método de curado trae tantos y tan variados beneficios a una estructura de hormigón, y puede ser tan sencillo de implementar, que no hacerlo es simplemente desperdiciar sus bondades.

El curado no sólo influye en la resistencia final del hormigón, sino que disminuye la permeabilidad y mejora la resistencia de la piel de hormigón al ingreso de gases (CO<sub>2</sub>, Oxígeno), elementos necesarios, unos para despasivar el refuerzo y los otros para causar corrosión. Un buen y oportuno curado aumenta la resistencia a la abrasión de pisos de hormigón, vías y obras hidráulicas, reduce la posibilidad de aparición de grietas por contracción plástica, y, aunque no la puede evitar, retarda la contracción de secado haciendo que se desarrolle a una edad de la estructura tal que la resistencia mecánica, especialmente a tensión, haya alcanzado un nivel suficientemente alto para que pueda contribuir, en unión con la armadura, a controlar el agrietamiento.

### **2.11. Normativas a utilizar en el procedimiento experimental.**

Para el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, así como para el análisis de propiedades del hormigón en su estado fresco y endurecido, se realizarán basados en el Manual de Carreteras Volumen 4 (MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES \*HORMIGONES) y en las normas ASTM, como se detalla a continuación.

**Tabla 2.20. Lista de los ensayos aplicados**

Nº	Ensayo	Normas	
1	Método para extraer y preparar muestras.	H0101	ASTM C-75
2	Método para el cuarteo de muestras	H0102	ASTM C-702
3	Método para tamizar y determinar la granulometría	H0104	ASTM C-136
4	Contenido total de agua de los áridos por secado	H0107	ASTM C-566
5	Método para determinar la densidad aparente	H0108	ASTM C-29
6	Método para determinar la densidad real, densidad neta y la absorción de agua en los áridos gruesos	H0109	ASTM C-127
7	Método para determinar la densidad real, densidad neta y la absorción de agua en los áridos finos	H0110	ASTM C-128

N°	Ensayo	Normas	
8	Practica estándar para hacer y curar especímenes de prueba de hormigón en el laboratorio		ASTM C 31
9	Método para determinar la docilidad mediante el cono de Abrams	H0304	ASTM C 143
10	Método de ensaye resistencia a la flexión de probetas prismáticas	H0310	ASTM C 78
11	Practica estándar para hacer y curar especímenes de prueba de hormigón en el laboratorio		ASTM C 192
12	Método de prueba estándar para la evaluación de agrietamiento por retracción plástica restringida de un hormigón reforzado con fibras		ASTM C1579

*Fuente: Elaboración propia.*

# III

## DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

### **3.1. Generalidades**

Este capítulo abarca todo cuanto se refiere a la parte práctica de ensayos efectuados en laboratorio, como también a los procedimientos de dosificación de mezclas de hormigón; los cuales se detallan a continuación:

- Detalle de las planillas de caracterización correspondiente a los materiales componentes de las mezclas de prueba. Son planillas estandarizadas por el laboratorio de suelos y hormigones de la UAJMS, en las cuales se muestra cada uno de los resultados requeridos para poder abarcar el estudio y conseguir los objetivos propuestos.
- Detalle del cálculo de la dosificación para realizar la mezcla de prueba del hormigón patrón, y los diferentes porcentajes de microfibras a utilizar para cada mezcla.
- Detalle de las planillas que contienen los resultados de roturas de los hormigones, que se procesaron para obtener los datos y resultados a tracción requeridos.
- Detalle de las planillas que contienen los resultados del ensayo (ASTM 1579) retracción plástica del hormigón fibroreforzado.
- Diagramas de los resultados de resistencia obtenidos.
- Diagramas de las fisuraciones obtenidas en la prueba, haciendo un análisis comparativo.
- Diagramas comparativos de los resultados de las mezclas.

### **3.2. Población y Muestra**

#### **Población**

Se utilizarán vigas estándar de altura de 150 mm, ancho 150 mm y de longitud de 500 mm. Los moldes deben ser constituidos en la forma rectangular abierto para recibir el hormigón. Deben ser hechos con materiales que no reaccionen con el hormigón que contengan cemento portland o bien otros cementos hidráulicos. Deben ser no absorbentes y sin fugas estancos y suficientemente resistentes y tenaces, para permitir su uso sin romperse, aplastarse o deformarse.

## Muestra

Para calcular el tamaño de la muestra de una población desconocida, en la presente investigación se obtuvo mediante la siguiente fórmula.

Fórmula para calcular el tamaño de muestra infinita:

$$N = \frac{Z^2_{\alpha} * p * q}{e^2}$$

Donde:

N= Tamaño de la muestra

Z $\alpha$ = Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza.

e= Error de estimación máximo aceptado.

p= Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito).

q= (1-p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado.

- Elegimos un grado de confiabilidad del 95% entonces mi valor estandarizado Z= 1.96. (de tabla N° 3.1)

**Tabla 3.1: Valores estandarizados en función del grado de confiabilidad**

Grados de confiabilidad (%)	Valor estandarizado (z $\alpha$ )
99	2,58
<b>95</b>	<b>1,96</b>
90	1,64

Fuente: QuestionPro. Tamaño de Muestra [acceso 28 jul 2022] disponible en:  
<https://www.questionpro.com/es/tama%C3%B1o-de-la-muestra.html>

- Asumimos un error máximo de 8%**, es la manera de aceptar que los datos no son absolutamente exactos o precisos. Por lo regular el margen de error puede ser controlado eligiendo una muestra aleatoria y aumentando el tamaño de la muestra, lamentablemente el presupuesto puede llegar a ser un limitante.

- ✚ Porque se tiene estudios anteriores y se vio una alta probabilidad de que ocurra el evento estudiado adoptamos  $p=99\%$  por lo tanto  $q=1-p=1-0.99=0.01$

Reemplazando los valores en la ecuación se tiene:

$$N = \frac{1.96^2 * 0.99 * 0.01}{0.08^2} = 5.9 \approx 6$$

**Tabla 3.2: Cantidad de vigas a realizar para análisis de resistencia**

Cantidad de probetas a realizar para el análisis de resistencia			
	Resistencia a flexión		
Edad de Hormigón	7 días	14 días	28 días
Hormigón convencional	6	6	6
Hormigón con microfibra (0.03%)	6	6	6
Hormigón con microfibra (0.09%)	6	6	6
Hormigón con microfibra (0.15%)	6	6	6
<b>Subtotal</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>24</b>
<b>Total</b>	<b>72 vigas</b>		

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 3.3: Cantidad paneles de hormigón para los ensayos de retracción plástica**

N° de paneles de hormigón para los ensayos de retracción plástica		
	Paneles con fibra	Paneles sin fibra
Hormigón con 0.03% microfibras	6	6
Hormigón con 0.09% microfibras	6	6
Hormigón con 0.15% microfibras	6	6
<b>Subtotal</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
<b>Total</b>	<b>36 paneles</b>	

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.3. Levantamiento de información

#### 3.2.1. Ubicación de la fuente de los materiales a utilizarse

##### 3.2.1.1. Agregado pétreo

La ciudad de Tarija cuenta con varios bancos de materiales en los cuales nos proporciona una seguridad para el diseño que se realice, para la presente investigación se utilizara los agregados de la Chancadora Garzón se encuentra a la orilla del rio cuyo material es procedente de San Mateo lo cual tiene una gran cantidad de áridos que cumple con las especificaciones de la presente investigación, la comunidad de San Mateo se encuentra a 5 kilómetros de la ciudad de Tarija, esta comunidad se dedica mayormente a la agricultura. Se toma en cuenta como agregado pétreo a los materiales:

- Grava 3/4”.
- Arena seleccionada.

**Figura 3. 1: Ubicación, banco de agregados Garzón**



*Fuente: Google Earth*

**Figura 3.2. Banco de agregado pétreo**



*Fuente: Elaboración propia*

### **3.3. Ensayos a los componentes del hormigón para caracterización de los componentes de la mezcla.**

#### **3.3.1. Granulometría de la grava.**

La granulometría de la grava se realizó utilizando los tamices especificados por la norma ASTM, un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de  $\pm 5$  °C y una balanza sensible de  $\pm 0.1$  gramo.

**Figura 3.3. Juego de tamices.**



*Fuente: Elaboración propia*

Tabla 3.4. Granulometría de la grava.

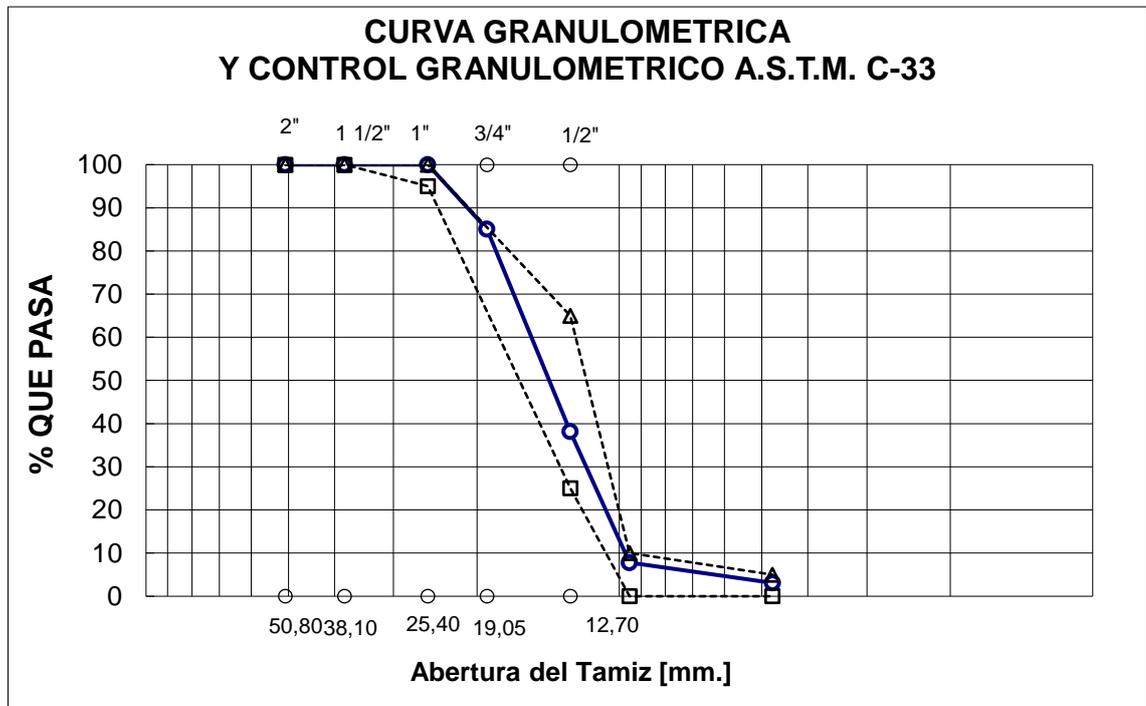
**GRANULOMETRIA - AGREGADO GRUESO**

Peso Total (gr.)			10.000,00		Tamaño máx. 1"		
Tamices	Abertura (mm)	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. acumulado	%	% que pasa del total	% Que Pasa s/g Espec. ASTM	
			( gr )			( % )	
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00	95	100
3/4"	19,05	1.495,02	1.495,02	14,95	85,05	-	-
1/2"	12,70	4.690,90	6.185,92	61,86	38,14	25	65
3/8"	9,52	3.037,50	9.223,42	92,23	7,77	0	10
Nº4	4,75	466,90	9.690,32	96,90	3,10	0	5
<b>Base</b>		23,20	9.713,52	97,14			
<b>SUMAS</b>		9.713,52					
<b>PERDIDAS</b>		286,48					

<b>Módulo de Finura</b>	<b>7,04</b>
<b>MF =</b>	

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4. Curva granulométrica.



Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2. Peso unitario de la grava.

#### 3.3.2.1. Método de compactado.

Se realizó en un molde 14 l de volumen y se apisonó en 3 capas, cada una con 25 golpes con la varilla tal como especifican las normas ASTM; se utilizó un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de  $\pm 5$  °C y una balanza sensible de  $\pm 0.5$  gramo.

**Figura 3.5. Ensayo de peso unitario compactado.**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 3.5. Peso unitario de la grava (compactado).**

#### PESO UNITARIO COMPACTADO

ENSAYO N°	PESO DEL MOLDE (g)	VOLUMEN MOLDE (CM3)	PESO MOLDE + MUESTRA COMPACTADA (g)	PESO DE MUESTRA COMPACTADA (g)	PESO UNITARIO COMPACTADO (g/cm3)
1	5840,00	9919,00	21150,00	15310,00	1,544
2	5840,00	9919,00	20885,00	15045,00	1,517
3	5840,00	9919,00	20880,00	15040,00	1,516
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,526</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.2.2. Método de suelto.

Se realizó en un molde 14 l de volumen y se apisono en 3 tal como especifican las normas ASTM; se utilizó un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de  $\pm 5$  °C y una balanza sensible de  $\pm 0.1$  gramo.

**Figura 3.6. Ensayo de peso unitario suelto.**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 3.6. Peso unitario de la grava.**

#### PESO UNITARIO SUELTO

ENSAYO N°	PESO DEL MOLDE (g)	VOLUMEN MOLDE (CM3)	PESO MOLDE + MUESTRA SUELTA (g)	PESO DE MUESTRA SUELTA (g)	PESO UNITARIO SUELTO (g/cm3)
1	5840,00	9919,00	19970,00	14130,00	1,425
2	5840,00	9919,00	19940,00	14100,00	1,422
3	5840,00	9919,00	19995,00	14155,00	1,427
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,424</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.3. Peso específico y absorción de la grava.

El mencionado ensayo de laboratorio se efectuó siguiendo el procedimiento estipulado por la Norma ASTM, se utilizó un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de  $\pm 5$  °C y una balanza sensible de  $\pm 0.5$  gramo.

**Figura 3.7. Equipo para peso específico grava.**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 3.7. Peso específico de la grava.**

MUESTRA Nº	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	PESO MUESTRA S.S.S. "B" (gr)	PESO MUESTRA SUMERGIDA "C" (gr)	$\rho_{RS}$	$\rho_{RT}$	$\rho_N$	%
				PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm <sup>3</sup> )	PESO ESPECÍFICO S.S.S. (gr/cm <sup>3</sup> )	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	
1	4917,50	5000,00	3077,00	2,56	2,60	2,67	1,68
2	4916,50	5000,00	3068,00	2,54	2,59	2,66	1,70
3	4914,00	5000,00	3072,00	2,55	2,59	2,67	1,75
<b>PROMEDIO</b>				<b>2,55</b>	<b>2,59</b>	<b>2,67</b>	<b>1,71</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.4. Granulometría de la arena.

La granulometría de la grava se realizó utilizando los tamices especificados por la norma ASTM, un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de  $\pm 5$  °C y una balanza sensible de  $\pm 0.1$  gramo.

Figura 3.8. Granulometría agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

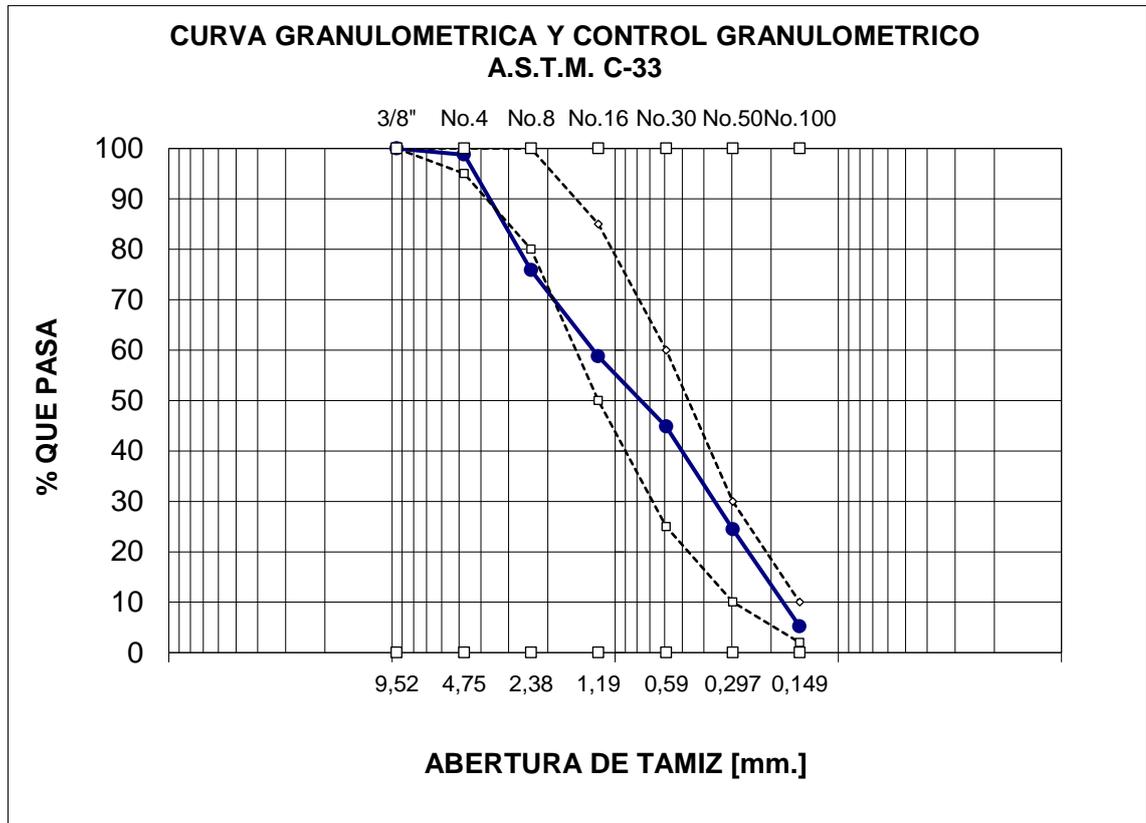
Tabla 3.8. Granulometría de la arena.

GRANULOMETRIA - AGREGADO FINO						
Peso Total (gr.)			1000,00			
Tamices	Abertura (mm)	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. acumulado (gr)	(%)	% que pasa del total	% Que Pasa s/g Espec. ASTM
3/8"	9,52	0,00	0,00	0,00	100,00	100
Nº 4	4,75	12,20	12,20	1,22	98,78	95 - 100
Nº 8	2,38	229,40	241,60	24,16	75,84	80 - 100
Nº 16	1,19	170,90	412,50	41,25	58,75	50 - 85
Nº 30	0,59	139,40	551,90	55,19	44,81	25 - 60
Nº 50	0,297	203,70	755,60	75,56	24,44	10 - 30
Nº 100	0,149	192,50	948,10	94,81	5,19	2 - 10
base	0,074	48,56	996,66	99,67	0,33	
<b>SUMAS</b>		996,66				
<b>PERDIDAS</b>		3,34				

Módulo de Finura MF	2,92
=	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.9. Curva granulométrica del agregado fino.



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.5. Peso unitario de la arena.

#### 3.3.5.1. Método de compactado.

Se realizó en un molde 3 lts de volumen y se apisonó en 3 capas, cada una con 25 golpes con la varilla tal como especifican las normas ASTM, y utilizó un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de  $\pm 5$  °C y se una balanza sensible de  $\pm 0.5$  gramo.

**Figura 3.10. Peso unitario de la arena compactada.**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 3.9. Peso unitario de la arena (compactado)**

**PESO UNITARIO COMPACTADO**

ENSAYO N°	PESO DEL MOLDE (g)	VOLUMEN MOLDE (CM3)	PESO MOLDE + MUESTRA SUELTA (g)	PESO DE MUESTRA SUELTA (g)	PESO UNITARIO SUELTO (g/cm3)
1	2605,00	2994,06	7790,00	5185,00	1,732
2	2605,00	2994,06	7905,00	5300,00	1,770
3	2605,00	2994,06	7905,00	5300,00	1,770
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,757</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

**3.3.5.2. Método de suelto.**

Se realizó en un molde 14 lt de volumen y se apisonó en 3 tal como especifican las normas ASTM y utilizó un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de  $\pm 5$  °C y una balanza sensible de  $\pm 0.5$  gramo.

**Figura 3.11. Ensayo de peso unitario suelto.**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 3.10. Peso unitario de la grava (suelto).**

**PESO UNITARIO SUELTO**

ENSAYO N°	PESO DEL MOLDE (g)	VOLUMEN MOLDE (CM3)	PESO MOLDE + MUESTRA SUELTA (g)	PESO DE MUESTRA SUELTA (g)	PESO UNITARIO SUELTO (g/cm3)
1	2605,00	2994,06	7325,00	4720,00	1,576
2	2605,00	2994,06	7380,00	4775,00	1,595
3	2605,00	2994,06	7250,00	4645,00	1,551
<b>PROMEDIO</b>					<b>1,574</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

**3.3.6. Peso específico y absorción de la arena.**

Para este procedimiento, se siguió lo especificado por las normas ASTM, un horno de temperatura constante de (105 °C) con un error de  $\pm 5$  °C, una balanza sensible de  $\pm 0.1$  gramo, un matraz de 500 ml y un error de  $\pm 0.250$  ml.

**Figura 3.12. Matraz graduado para peso específico aparente de la arena.**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 3.11. Peso Específico de la arena.**

N°	PESO MUESTRA (g)	PESO MATRÁZ + AGUA (g)	PESO MATRÁZ + AGUA + MUESTRA (g)	PESO MUESTRA SECA (g)	$\rho_{RS}$	$\rho_{RT}$	$\rho_N$	% DE ABS.
					P.E. GRANEL (g/cm <sup>3</sup> )	P.E. SSS (g/cm <sup>3</sup> )	P.E. APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )	
1	500,00	736,80	1039,10	492,10	2,49	2,53	2,59	1,61
2	500,00	721,50	1032,80	492,30	2,61	2,65	2,72	1,56
3	500,00	741,80	1033,70	492,30	2,37	2,40	2,46	1,56
<b>PROMEDIO</b>					<b>2,49</b>	<b>2,53</b>	<b>2,59</b>	<b>1,58</b>

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.7. Cemento utilizado.

En la presente investigación se empleará el cemento portland fabricado por la empresa Soboce de su Fabrica 'El Puente, que abastece a la ciudad de Tarija, es un cemento portland IP-30.

### Especificaciones Técnicas

- Norma técnica: Norma Boliviana NB-011
- Tipo de cemento: IP-30
- Presentación: bolsas de 50 Kg.
- Peso específico del cemento 3,15 gr/cm<sup>3</sup>

### Características

- Producto obtenido de la molienda conjunta de Clinker, yeso y puzolana.
- Desprende menor calor de hidratación, lo que reduce la retracción térmica debido a la inclusión de puzolana.
- Mayor trabajabilidad en morteros y revestimientos

### 3.4. Dosificación método ACI – 211.



UNIVERSIDAD AUTONOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE HORMIGON Y RESISTENCIA DE MATERIALES

## DOSIFICACION DE HORMIGONES

### METODO ACI-211

Proyecto: Evaluación de la incorporación de microfibras de polipropileno en el hormigón, para la disminución de las fisuras causadas por la retracción plástica	Laboratoristas: Univ. Choque Aramayo Eudín
Procedencia: Tarija, cercado- San Mateo	
Solicitante: Univ. Choque Aramayo Eudín	Fecha: 24/08/2024

### CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS

ENSAYO	Unidad	Valor
1.- Modulo de finura de la arena (MF)	s/u	2,92
2.- Peso unitario Compactado de la grava ( PUC )	kg/m <sup>3</sup>	1526
3.- Peso específico de la arena ( $\gamma_f$ )	gr/cm <sup>3</sup>	2,49
4.- Peso específico de la grava ( $\gamma_g$ )	gr/cm <sup>3</sup>	2,55
5.- Absorción de la arena ( Aa )	%	1,55
6.- Absorción de la Grava ( Ag )	%	1,70
7.- Humedad de la Arena ( Ha )	%	0,03
8.- Humedad de la Grava ( Hg )	%	0,43
9.- Tamaño máximo Nominal ( TMN )	cm	1,90
10.- Tamaño Máximo ( TM )	cm	2,50
11.- Peso específico del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	3,15

### CARACTERISTICAS DEL DISEÑO

Resistencia de diseño ( $f_{ck}$ )	210	kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia Característica ( $f_{ck}$ ) (Tabla 11.12)	295	kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento ( S ) (Tabla 11.4)	7	cm
Relacion Agua / Cemento ( a/c ) (Tabla 11,13)	0,557	s/u

**DATOS DE TABLAS**

Vol. Agr. Grueso / Vol. unitario concreto ( b/bo) (Tabla 11.15)	0,657	s/u
Requerimiento de Agua ( A ) (Tabla 11.6)	193	kg/m <sup>3</sup>

**CALCULOS**

Peso Agregado Grueso ( Pag )	= (b/bo)xPUC <b>1002,582</b> kg/m <sup>3</sup>
Peso cemento ( Pc )	= A / (a/c ) <b>346,50</b> kg/m <sup>3</sup>
Volumen de Agregado Grueso ( Vag )	= Pag/γg <b>393,17</b> lt/m <sup>3</sup>
Volumen del cemento ( Vc )	= Pc/γc <b>110,00</b> lt/m <sup>3</sup>
Volumen de Arena ( Vaf )	= 1000 - Vc - A - Vag <b>303,83</b> lt/m <sup>3</sup>
Peso del agregado fino ( Paf )	= Vaf x γf <b>756,54</b> kg/m <sup>3</sup>

**CONTENIDO SECO DE LOS INGREDIENTES POR (m<sup>3</sup>) DE CONCRETO**

Ingrediente	Peso Seco kg/m <sup>3</sup>	Volumen Absoluto lt/m <sup>3</sup>	Peso especifico gr/cm <sup>3</sup>
Cemento	346,50	110,00	3,15
Agua	193	193	1
Grava	1002,582	393,17	2,55
Arena	756,54	303,83	2,49
<b>TOTAL</b>	<b>2298,62</b>	<b>1000,00</b>	

**PESOS HUMEDOS DE LOS MATERIALES**

Peso Húmedo de la arena ( Pha )	= Paf x ( 1 + Ha ) <b>756,77</b> kg/m <sup>3</sup>
Peso Húmedo de la Grava ( Phg )	= Pag x ( 1 + Hg ) <b>1006,89</b> kg/m <sup>3</sup>

**CORRECCION DEL AGUA**

Agua corregida a la grava ( Acg )	= Pag x ( Ag - Hg ) <b>12,73</b> lt/m <sup>3</sup>
Agua corregida a la Arena ( Acf )	= Paf x ( Aa - Ha ) <b>11,50</b> lt/m <sup>3</sup>
Total Agua Corregida ( Atc )	= Acg + Acf <b>24,23</b> lt/m <sup>3</sup>

**CONTENIDO HUMEDO DE LOS INGREDIENTES POR (m<sup>3</sup>) DE HORMIGON**

<b>Ingrediente</b>	<b>Peso Seco kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Peso Húmedo kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Cemento</b>	346,50	346,50
<b>Agua</b>	193,00	217,23
<b>Grava</b>	1002,58	1006,89
<b>Arena</b>	756,54	756,77
<b>TOTAL</b>	<b>2298,62</b>	<b>2327,39</b>

**PROPORCIONES DE MEZCLA**

<b>Cemento</b>	<b>Arena</b>	<b>Grava</b>
<b>1,0</b>	<b>2,18</b>	<b>2,89</b>

**OBSERVACIONES**

1.- Las humedades tanto de la grava como de la arena corresponden a las obtenidas en laboratorio debiendo hacer las correcciones adecuadas en obra en el momento del vaciado.

2.- La presente dosificación no tendrá efecto en caso de agregados contaminados o sucios, con:

- ✚ Arcillas o finos, materiales orgánicos, residuos de otros materiales, etc.
- ✚ Por lo que se recomienda lavar siempre los áridos antes de utilizarlos.

El método de dosificación utilizado fue el método ACI-211, se diseñaron muestras para alcanzar una resistencia característica de 21MPa a los 28 días de edad del hormigón, se usó un tamaño máximo de agregado grueso de 1 pulgada ya que este estudio es aplicado a estructuras superficiales, asentamiento de 3 pulgadas para conseguir una mezcla trabajable, y relación agua/cemento igual a 0.557 la cual es adecuada para hormigones convencionales y hormigones reforzados con fibras.

Para las muestras de hormigón reforzado con fibras, no se realizó ningún cambio en la dosificación del hormigón, porque de acuerdo a las recomendaciones del IMCyC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.), cuando se agrega porcentajes bajos de fibra, no es necesario hacer ningún cambio en las proporciones de los componentes de hormigón.

### 3.5. Elaboración de probetas de hormigón para la confirmación de la resistencia a compresión.

Esta práctica cubre los procedimientos necesarios para elaborar y curar muestras cilíndricas de hormigón, que puede ser compactado mediante varillado o vibración. La norma ASTM C31 se denomina “Práctica estándar para elaborar y curar muestras cilíndricas de hormigón”. Para la elaboración las muestras cilíndricas se siguieron los siguientes pasos:

- ✚ Primeramente, se determina el asentamiento de la mezcla.
- ✚ Se puso el molde cilíndrico de 15 cm de diámetro interior y 30 cm de alto, sobre la superficie horizontal del piso.
- ✚ Con ayuda de una cuchara se empezó a llenar el interior del molde con hormigón, moviendo la cuchara alrededor del borde del molde para asegurar la distribución del hormigón y una mínima segregación.
- ✚ Se llenó el molde en tres capas de igual volumen. En la última capa, se agregó la cantidad de hormigón suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación.

**Figura 3.13. Elaboración de probetas cilíndricas**



*Fuente: Elaboración propia*

- ✚ Compactar cada capa con 25 penetraciones, con la varilla de 5/8" de diámetro, usando la punta semiesférica, distribuyendo uniformemente las penetraciones.
- ✚ Se compactó la capa inferior en todo su espesor, la segunda y tercera capa penetrando 25 mm en la capa anterior.
- ✚ Después de compactar cada capa, se golpeó los lados del molde ligeramente 10 veces con un martillo de goma para liberar las burbujas de aire que pueden quedar atrapadas, y para nivelar el hormigón.
- ✚ Se enrasó el exceso de hormigón con la varilla de compactación para producir una superficie lisa y plana.
- ✚ Por último, se transportó las muestras a un ambiente con superficie horizontal, donde se almacenaron hasta el día siguiente, para posteriormente desmoldarlas y sumergirlas en la piscina de curado.
- ✚ Las muestras se sumergieron completamente en el agua de la piscina de curado, hasta el día correspondiente a su rotura, recordando que las muestras se rompieron a los 7 días de edad del hormigón.

**Figura 3.14. probetas cilíndricas terminadas**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5.1. Trabajabilidad del hormigón.

Para evaluar la trabajabilidad del hormigón en estado fresco, fue necesario llevar a cabo el ensayo de asentamiento, el cual, fue realizado de acuerdo a lo expuesto por la norma ASTM C-143, haciendo uso del cono de Abrams.

Donde se aplicará de la siguiente manera:

a) La consistencia de cada preparación de hormigón se mide inmediatamente después de mezclar, realizando el ensayo de asentamiento, utilizando el método del Cono Abrams, para lo cual se precisa el siguiente equipo:

- ✚ Molde de metal galvanizado en forma de tronco de cono, diámetro de la base superior 4"; diámetro de la base inferior 8" y una altura de 12".
- ✚ Regla graduada o flexómetro para medir el asentamiento de la mezcla.
- ✚ Varilla para apisonar el hormigón de 5/8" y 60 cm de longitud. Se toma una muestra representativa de la mezcla cuya consistencia se quiere determinar y se coloca el molde sobre una superficie plana que no sea absorbente. El molde se llena usando tres capas de mezcla. Cada capa se compacta con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente. Después de llenar el molde como se indica, se retira este con un movimiento vertical. Inmediatamente después se determina por medio de una regla el asentamiento de la muestra con relación a su altura inicial, asimismo la consistencia es expresada en términos de asentamiento.

b) Todo el hormigón empleado para el ensayo de asentamiento es devuelto al recipiente de mezcla e inmediatamente se procede a vaciar la mezcla en los moldes de realización de probetas.

**Tabla 3.12. Asentamiento de microfibras de polipropileno.**

%	Muestra	Asentamiento (cm)
0,00	Patrón	7,6
0,03	Microfibras	7,3
0,09	Microfibras	7,3
0,15	Microfibras	6,8

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.15. Ensayo de asentamiento a las mezclas realizadas.**



*Fuente: Elaboración propia*

Como se aprecia en nuestra tabla 3.12. la mezcla patrón elaborada presentó un asentamiento de 3 pulg. Se puede apreciar que la incorporación de fibras de polipropileno reduce la trabajabilidad de la mezcla, puesto que los asentamientos son menores para las mezclas, en las cuales se incorporó microfibras de polipropileno en las dosificaciones de 0,03, 0,09 y 0,15% respectivamente. Es decir que a mayor incorporación de fibras de polipropileno menor será la trabajabilidad de la mezcla de hormigón.

### **3.5.2. Ensayo de resistencia a compresión ASTM C39.**

Los ensayos de resistencia a compresión se realizaron de acuerdo a la norma ASTM C39 denominada “Método de prueba estándar de resistencia a compresión de probetas cilíndricas de hormigón”, en el cual se emplean cilindros de prueba de hormigón de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto, elaborados en moldes metálicos. Las probetas cilíndricas de hormigón se rompieron a los 7 días. Se describe a continuación los pasos realizados en este ensayo:

- ✚ Se retiraron las probetas cilíndricas de la piscina de curado, pero manteniendo la humedad.

- ✚ Se comprobó la perpendicularidad de los cilindros respecto a su eje axial, y que sus caras extremas no presenten irregularidades.
- ✚ Se colocó en los extremos del cilindro, discos con almohadillas de neopreno, para la transmisión de carga.
- ✚ Luego se los puso en el equipo hidráulico de compresión.
- ✚ Se alineó el eje del cilindro en el centro del equipo para que la transmisión de carga sea uniforme.
- ✚ Se empezó con la transmisión de carga, haciendo uso del brazo mecánico que tiene el equipo hidráulico, manteniendo la velocidad constante.
- ✚ Cuando se produjo la falla del cilindro se anotó el valor de carga que soportaba.
- ✚ Teniendo la carga de rotura y el área del cilindro, se procedió a calcular el esfuerzo de compresión del cilindro.

**Figura 3.16. Ensayo de resistencia a compresión.**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 3.13. Resistencia a compresión de probetas cilíndricas de hormigón****(normas: ASTM c39 - AASHTO t22)**

Nº	Identificación	F. de Vaciado	F. de Rotura	Edad (días)	Área (cm <sup>2</sup> )	Lectura (KN)	Resist. (MPa)	Proyección 28d (MPa)
1	Probeta 1	19/8/2024	27/8/2024	8	176,72	310,30	17,10	23,65
2	Probeta 2	19/8/2024	27/8/2024	8	176,72	311,60	17,17	23,75
3	Probeta 3	19/8/2024	27/8/2024	8	176,72	305,20	17,06	23,26
4	Probeta 4	19/8/2024	27/8/2024	8	176,72	302,70	17,01	23,07

*Fuente: Elaboración propia***3.6. Elaboración, curado y ruptura de los especímenes de hormigón a flexión.**

Para la elaboración de los especímenes de hormigón, se pesan los componentes del mismos (agregado grueso, agrado fino, cemento y agua) de acuerdo a las proporciones indicadas en la dosificación.

**Figura.3.17. hormigoneras listas para empezar el mezclado.***Fuente: Elaboración propia***Secuencia en el mezclado.**

- a) Se preparó la mezcladora, asegurándose que se encuentra limpia.
- b) Los moldes prismáticos, fueron armados y se les paso con ayuda de una brocha aceite negro para que se facilite el desencofrado.

- c) Se pesaron los agregados en estado húmedo y se realizó la corrección por humedad, se pesó el cemento y se midió en peso la cantidad de agua.
- d) En la mezcladora primero se agregó el agregado grueso, después el fino, se empezó con el mezclado y se fue agregando en pequeña proporción el agua, finalmente se agrega el cemento y se termina de agregar el agua.
- e) Se midió la trabajabilidad del hormigón con ayuda del cono de Abrams.
- f) La mezcla fue vertida de la mezcladora a una carretilla y con ayuda de una pala se procedió a llenar los moldes prismáticos (vigas), se lo realizo por franjas hasta sus terceras partes y se lo apisono para evitar la formación de vacíos, finalmente se enraso.
- g) Se las dejo fraguando 24 horas para posteriormente desencofrarlas y sumergirlas para someterlas al curado por 7, 14 y 28 días.

Para le hormigón reforzado se realizó la misma secuencia de pasos con la inclusión de microfibras.

La inclusión de las microfibras se debe realizar con mucha calma para poder garantizar la buena distribución de estas en la mezcla.

Se realizaron un número de muestras (vigas), por cada tipo de hormigón que se comparara haciendo un total de 72 vigas.

**Figura 3.18. Vaciado de las vigas y curado.**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.6.1 Ensayo en el hormigón endurecido.

#### 3.6.1.1. Resistencia a tracción de vigas de hormigón.

Este método de ensayo cubre la determinación del esfuerzo a tracción del hormigón utilizando una viga simple con carga en los tercios medios. Los resultados se calculan y se reportan como el módulo de ruptura ( $f_r$ ). El esfuerzo determinado puede variar cuando hay diferencias en el tamaño del espécimen, la preparación, la condición de humedad, el curado o cuando la viga ha sido moldeada o cortada a un tamaño específico. Los resultados de este método de ensayo pueden ser utilizados para determinar el cumplimiento de especificaciones o como una base para las operaciones de dosificación, de mezclado y colocación. Este ensayo se utiliza en hormigones para la construcción de losas y pavimentos.

**Figura 3.19. Equipo utilizado.**



*Fuente: Elaboración propia*

Secuencia de pasos seguidos para realizar el ensayo:

- a) Se tomó el peso de cada viga.
- b) Se cargó la viga en el equipo de Ruptura a Flexión.

**Figura 3.20. Prensa hidráulica.**



*Fuente: Elaboración propia*

- c) Se programó el equipo, de acuerdo a los datos de la viga como ser su peso, longitud, edad y la velocidad de fuerza que hará el equipo; la velocidad y edad variaba entre 7,14 y 28 días.

**Figura 3.21. Rotura de las vigas.**



*Fuente: Elaboración propia*

- d) Todas las vigas se sometieron a la prueba de resistencia a flexo tracción, y se registraron los valores de resistencia.

**figura 3.21. Vigas después del ensayo de atracción.**



*Fuente: Elaboración propia*

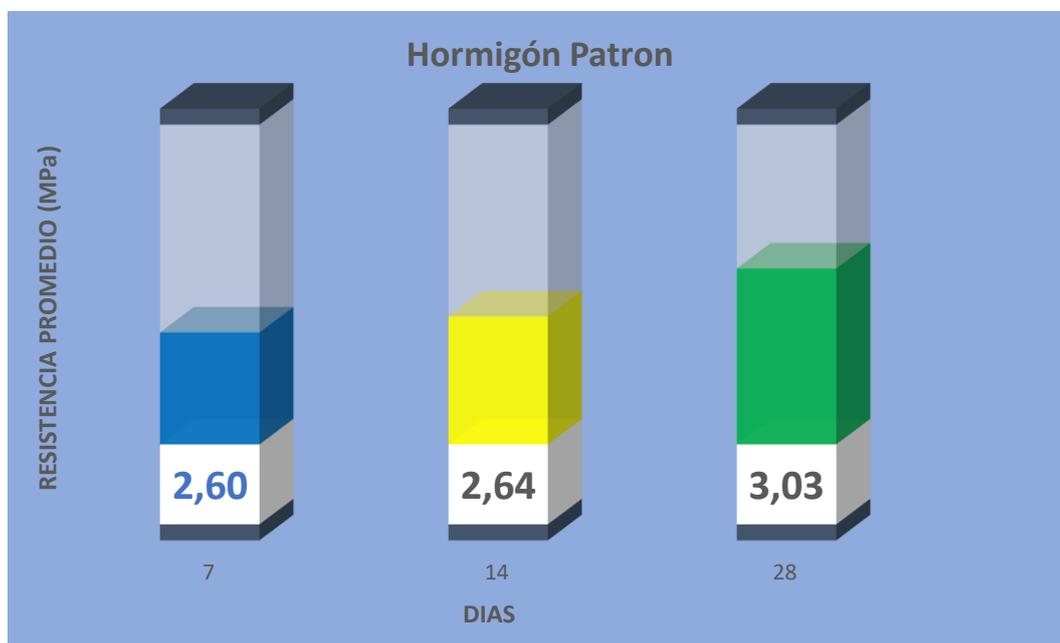
### 3.7. Valores de resistencia a tracción obtenidos.

**Tabla 3.14. Resultados obtenidos de resistencia a tracción de vigas.**

	N.-	Edad (días)	Espesor (cm)	Lecturas (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
0,00%	1	7	15	21,80	2,90	2,60
	2	7	15	18,60	2,40	
	3	7	15	18,80	2,28	
	4	7	15	20,00	2,55	
	5	7	15	22,80	2,99	
	6	7	15	21,80	2,49	
0,00%	1	14	15	20,60	2,61	2,64
	2	14	15	22,80	3,00	
	3	14	15	21,10	2,63	
	4	14	15	19,90	2,47	
	5	14	15	21,80	2,60	
	6	14	15	20,60	2,51	
0,00%	1	28	15	24,70	3,06	3,03
	2	28	15	25,50	3,14	
	3	28	15	22,20	2,95	
	4	28	15	25,30	2,96	
	5	28	15	26,50	3,20	
	6	28	15	22,80	2,80	

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.23. Diagramas de barras de los valores de resistencia a tracción de vigas obtenidos.**



*Fuente: Elaboración propia*

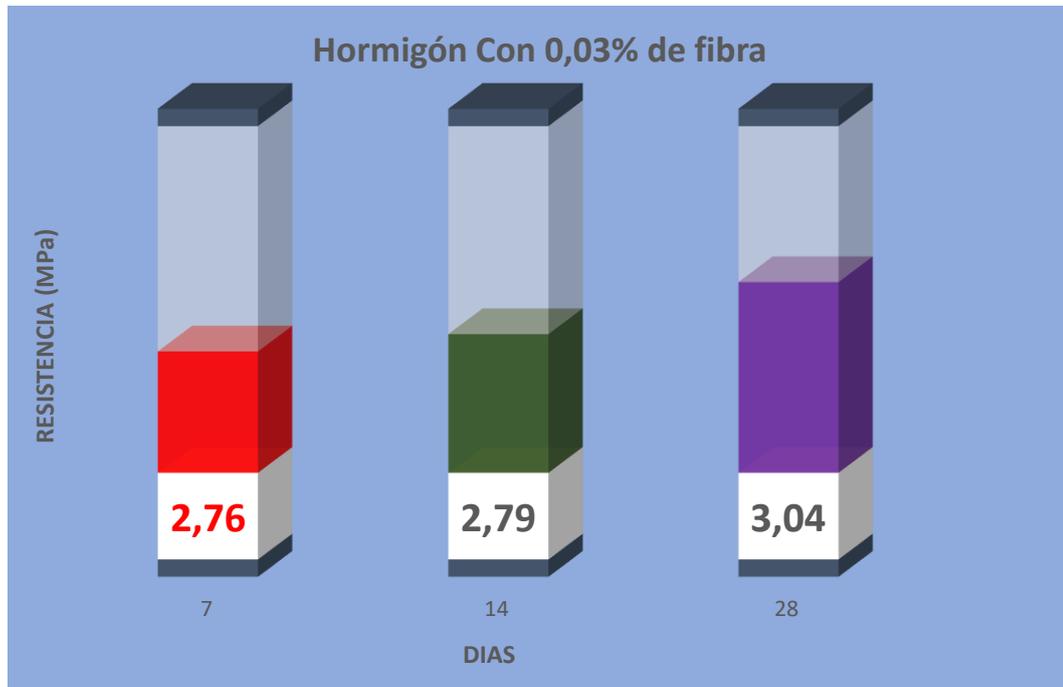
**Tabla 3.15. Resultados obtenidos de resistencia a tracción de vigas con 0,03% de microfibra.**

	N.-	Edad (días)	Espesor (cm)	Lecturas (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
0,03%	1	7	15	20,60	2,67	2,76
	2	7	15	23,60	2,86	
	3	7	15	22,20	2,79	
	4	7	15	21,40	2,73	
	5	7	15	20,80	2,74	
0,03%	1	14	15	22,60	2,90	2,79
	2	14	15	21,00	2,87	
	3	14	15	23,00	2,96	
	4	14	15	19,90	2,79	
	5	14	15	20,70	2,42	
	6	14	15	21,80	2,77	

	N.-	Edad (días)	Espesor (cm)	Lecturas (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
0,03%	1	28	15	26,50	3,53	3,04
	2	28	15	22,00	2,97	
	3	28	15	24,00	3,00	
	4	28	15	19,90	2,53	
	5	28	15	25,50	3,31	
	6	28	15	23,40	2,92	

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.24. Diagrama de barras de los valores de resistencia a tracción de vigas obtenidos.**



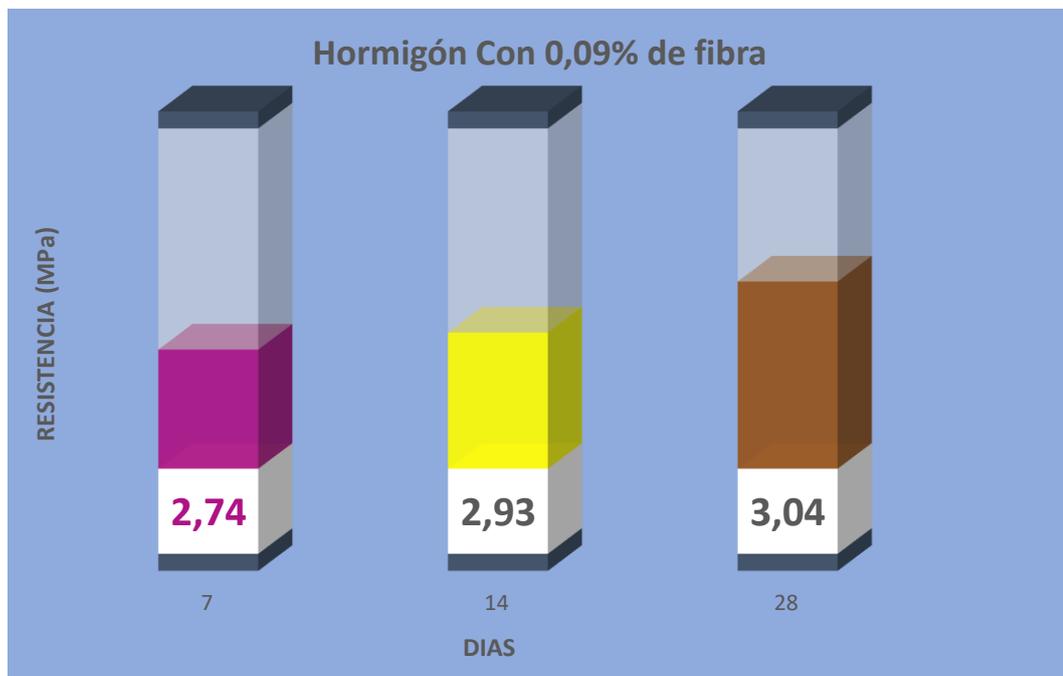
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 3.16. Resultados obtenidos de resistencia a tracción de vigas con 0,09% de microfibra.**

	N.-	Edad (días)	Espesor (cm)	Lecturas (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
0,09%	1	7	15	20,90	2,53	2,74
	2	7	15	21,50	2,62	
	3	7	15	20,90	2,58	
	4	7	15	24,90	3,18	
	5	7	15	22,90	2,93	
	6	7	15	21,10	2,61	
0,09%	1	14	15	21,50	2,67	2,93
	2	14	15	24,80	2,90	
	3	14	15	22,90	2,80	
	5	14	15	24,50	3,28	
	6	14	15	23,90	3,00	
0,09%	1	28	15	25,00	3,22	3,04
	2	28	15	22,80	2,95	
	3	28	15	23,00	2,80	
	4	28	15	25,90	3,17	

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.25. Diagramas de barras de los valores de resistencia a tracción de vigas obtenidos.**



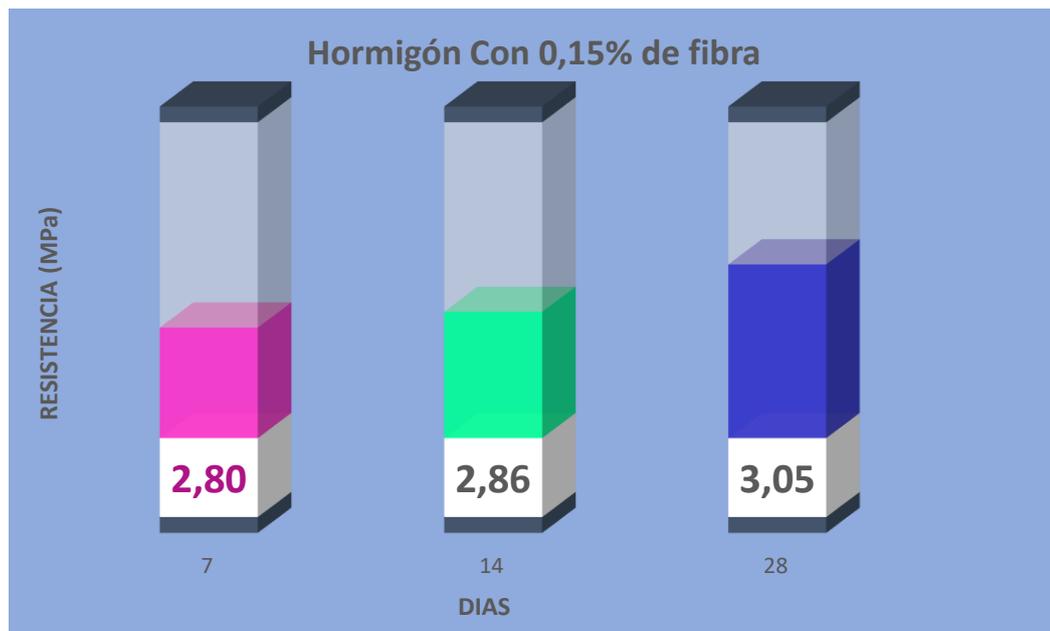
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 3.17. Resultados obtenidos de resistencia a tracción de vigas con 0,15% de microfibra**

	N.-	Edad (días)	Espesor (cm)	Lecturas (kN)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
0,15%	1	7	15	25,20	2,99	2,80
	2	7	15	23,60	3,06	
	3	7	15	23,30	3,03	
	4	7	15	20,30	2,43	
	5	7	15	20,60	2,51	
	6	7	15	21,40	2,76	
0,15%	1	14	15	20,60	2,75	2,86
	2	14	15	20,60	2,87	
	3	14	15	21,90	2,92	
	4	14	15	21,10	2,72	
	5	14	15	22,60	3,02	
0,15%	1	28	15	24,70	3,06	3,05
	2	28	15	25,50	3,14	
	3	28	15	22,20	2,95	
	4	28	15	25,30	2,96	
	5	28	15	26,50	3,40	
	6	28	15	22,80	2,80	

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.26. Diagramas de barras de los valores de resistencia a tracción de vigas obtenidos.**



*Fuente: Elaboración propia*

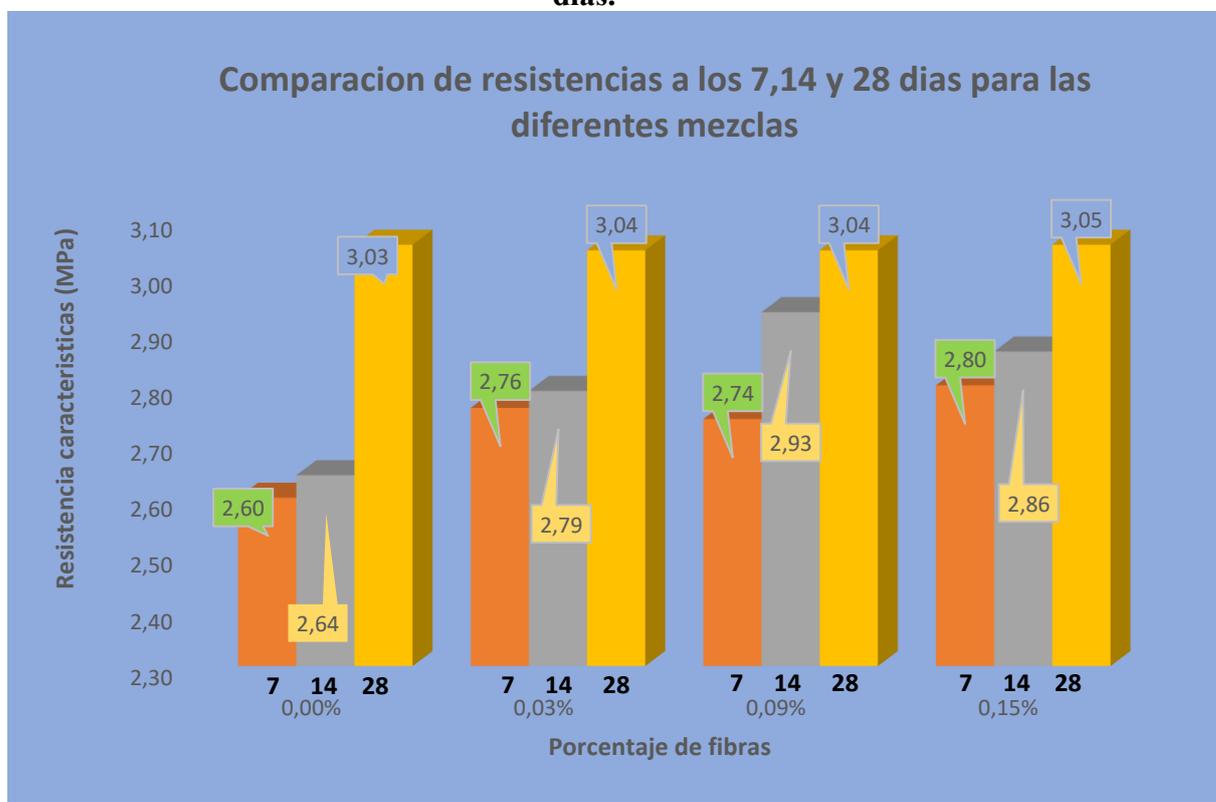
### 3.7.1. Resumen de las resistencias a tracción obtenidas.

**Tabla 3.18. Resultados obtenidos de resistencia a tracción de las vigas.**

TIPO DE MUESTRA	PORCENTAJE DE FIBRAS	EDAD DEL HORMIGÓN (DIAS)	RESISTENCIA CARACTERISTICA (MPa)
HORMIGÓN PATRON	0,00%	7	2,60
		14	2,64
		28	3,03
HORMIGÓN CON FIBRAS SINTETICAS	0,03%	7	2,76
		14	2,79
		28	3,04
	0,09%	7	2,74
		14	2,93
		28	3,04
0,15%	7	2,80	
	14	2,86	
	28	3,05	

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.27. Comparación de resistencias a tracción de vigas a los 7,14 y 28 días.**



*Fuente: Elaboración propia*

### **3.8. Ensayo de retracción plástica ASTM C1579.**

Este ensayo se usa para comparar la fisuración de superficies en paneles de hormigón reforzado con fibras, con la fisuración de superficies en paneles de control de hormigón, sujetos a restricción y pérdida de humedad que son lo suficientemente intensas como para producir fisuración. El ensayo ASTM C1579 se denomina “Método de prueba estándar para la evaluación del agrietamiento por retracción plástica restringida del hormigón reforzado con fibras”.

Este método de ensayo consiste en utilizar dos paneles, la primera con un hormigón patrón (que puede o no incluir fibra en su dosificación) y una segunda de hormigón con fibras incorporadas, para comparar el comportamiento de ambos paneles frente al agrietamiento por retracción plástica.

Estos paneles son preparados de acuerdo a una guía preestablecida y son expuestas a condiciones controladas de secado antes de su término. Las condiciones de secado intentan ser bastante severas para inducir el agrietamiento debido a retracción plástica en la probeta hecha para el hormigón patrón.

Un parámetro importante en este método es la velocidad de pérdida de agua por evaporación, que es controlada por las condiciones atmosféricas circundantes a los paneles de ensayo. Ya que los paneles de hormigón no siempre tendrán la misma velocidad de evaporación de agua que el recipiente de agua usado para medir está perdido en el ensayo (debido a los efectos de evaporación y exudación), la velocidad de evaporación de 1.0 kg/m<sup>2</sup>·h desde el recipiente de agua representa la velocidad mínima de evaporación que debe ser conseguida para este ensayo. La pérdida de humedad desde los paneles de hormigón puede también ser monitoreadas e informadas, sin embargo, la velocidad de evaporación desde la superficie libre del agua en el recipiente es un parámetro que puede ser usado para cuantificar las condiciones ambientales de secado.

El ensayo se termina en el momento del final de fraguado. Sin embargo, a 24 hrs del inicio del mezclado, es determinado el espesor promedio de la fisura. Los resultados obtenidos pueden ser usados para comparar el desempeño de hormigones con diferentes dosificaciones, hormigones con o sin adiciones de fibras y hormigones con diferentes tipos y porcentajes de aditivos. Este método intenta

controlar las variables atmosféricas para cuantificar el rendimiento relativo de una mezcla de hormigón fresco dada.

Debido a que muchas otras variables como la finura del cemento, graduación de los agregados, procedimientos de mezclado, descenso de cono, contenido de aire, temperatura del hormigón y terminación de la superficie también pueden influir en el agrietamiento potencial, una especial atención debe prestarse para mantener estos parámetros tan consistentes como sea posible entre mezclas.

Para el análisis de las fisuraciones en el hormigón se determinarán de la siguiente manera:

### **Material y equipo necesario para el desarrollo del método.**

#### **Moldes**

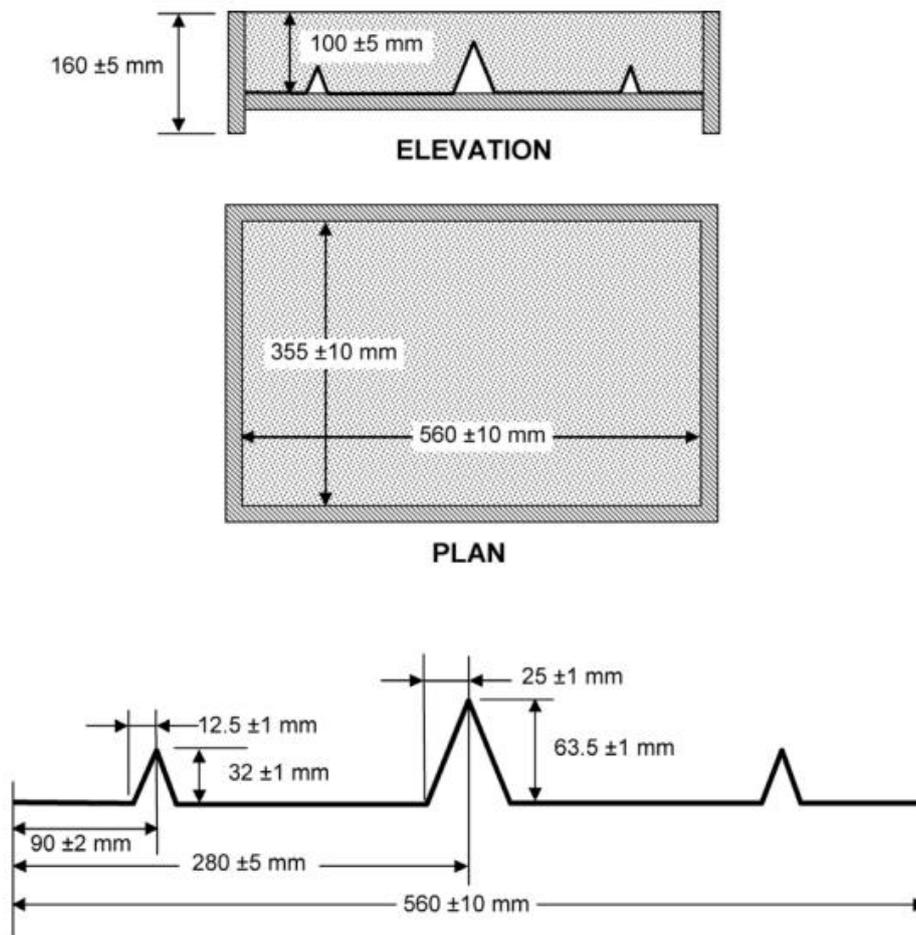
Para confeccionar los paneles del ensayo de fisuración se utilizaron moldes con las dimensiones que se indican en la Figura N° 3.28. Los moldes fueron confeccionados con acero inoxidable, sin embargo, la norma permite otros materiales como madera o plástico.

Los moldes utilizados son rectangulares de 355 mm por 560 mm, con una profundidad de 120 mm, ya que la norma establece que la profundidad debe ser de al menos 65 mm más 2 veces el tamaño máximo de agregado grueso, en esta investigación el tamaño máximo de agregado es 1", el molde fue fabricado con chapa metálica.

#### **Restricciones Internas e Inductor de grietas**

Las restricciones internas y elevador de tensión también se fabricaron de chapa metálica, como se ilustra en la figura 3.29. las dos restricciones miden 32 mm de alto se colocan a 90 mm hacia el interior desde cada extremo del molde, el elevador de tensión central mide 64 mm de alto y sirve como punto de iniciación para la formación de fisuras, el elevador de tensión y las restricciones van unidos a la parte inferior del molde.

**Figura 3.28. Dimensiones de los moldes y restricciones geométricas**



*Fuente: ASTM C1579*

**Figura 3.29. Moldes para la realización del ensayo**



*Fuente: Elaboración propia*

### Usar aceite desmoldante

Para cubrir la base y los lados del molde para reducir la adherencia al hormigón. La inserción y el retirado del engrasado son considerados correctamente cuando toda la superficie es recubierta de aceite y el exceso se ha eliminado con un trapo limpio y seco

### Aparatos para generar condiciones medioambientales

Para generar las condiciones medioambientales se utilizó un ventilador y un calentador. El ventilador empleado es eléctrico, de velocidad variable, tiene un diámetro de 50 cm, es capaz de alcanzar una velocidad de viento de más de 4.7 m/s en el área entera de superficie de los paneles de prueba, como lo establece la norma. El calentador utilizado funciona a gas, es de intensidad variable para poder regular la temperatura y controlar la humedad relativa del ambiente.

**Figura 3.30. Aparatos para generar condiciones medioambientales.**

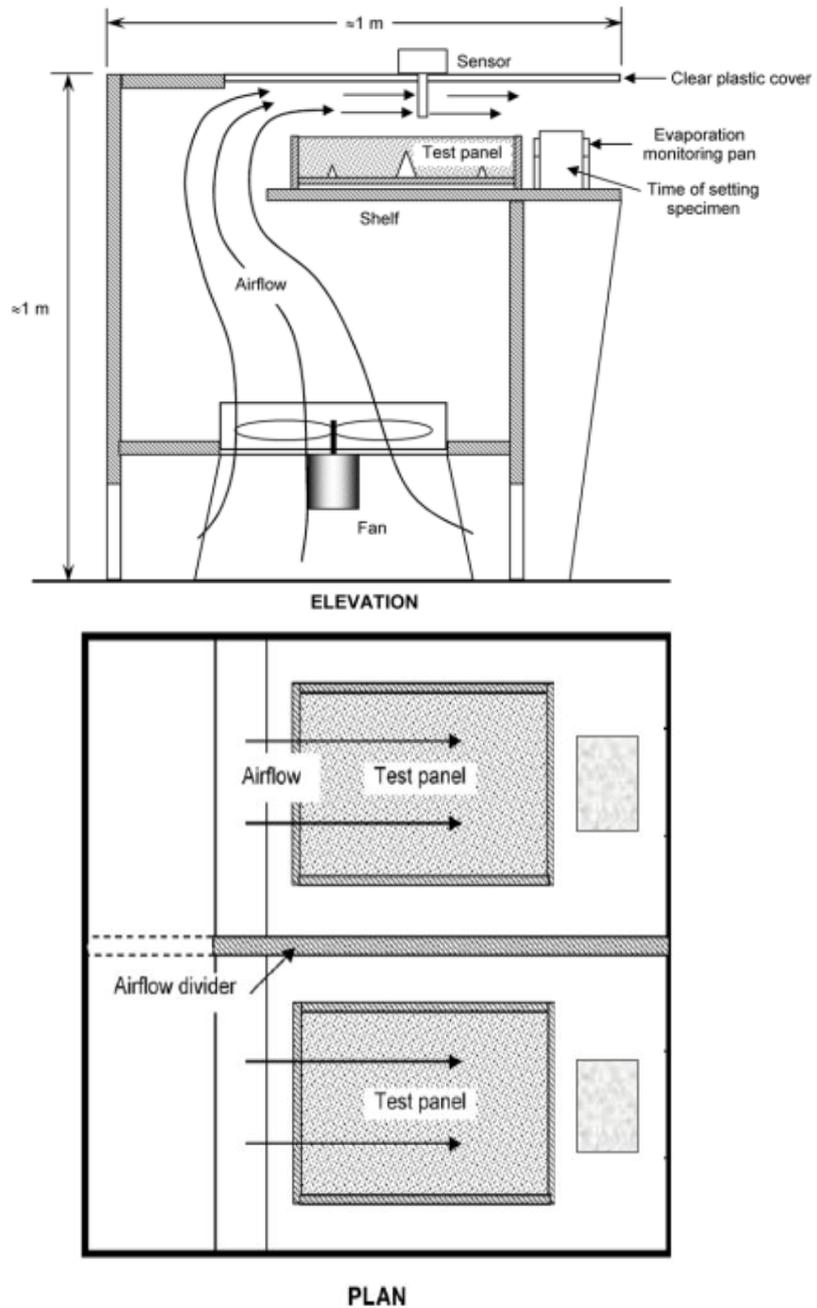


*Fuente: Elaboración propia*

### Cámara ambientada.

La cámara ambientada tiene 1 m de altura, 1.2 m de largo y ancho, el esqueleto es de fierro angular, las paredes se cubrieron con trupan material rígido de textura lisa, se puso madera aglomerada como base para apoyar los moldes, por la parte superior se cubrió con vidrio para poder visualizar el proceso de fisuración en los paneles de hormigón. En el interior de la cámara se instala el calentador detrás del ventilador, así este último absorbe el aire caliente generado por el calentador y bota un flujo de aire caliente. Ventilador eléctrico Calentador a gas.

Figura 3.31. Cámara ambientada.



Fuente: ASTM C1579



*Fuente: Elaboración propia*

### **Fuente de Monitoreo**

Se requiere una fuente adecuada para exponer el agua a la corriente de aire para cada panel de prueba de hormigón. La fuente debe ser de tamaño suficiente para exponer al menos  $0,1 \pm 0,01$  m<sup>2</sup> de agua a la corriente de aire. El labio expuesto de la fuente no se extenderá más de 5 mm por encima el nivel de agua en el inicio de la prueba.

**Figura 3.32. Fuente para determinar la tasa de evaporación.**



*Fuente: Elaboración propia*

### **Comparador de fisuras.**

Para medir el ancho de las fisuras, se usó un juego de galgas metálicas de diferentes espesores: 0.04, 0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.13, 0.15, 0.18, 0.20, 0.23, 0.25, 0.28, 0.30, 0.33, 0.35, 0.38, 0.40, 0.43, 0.45, 0.48, 0.50, 0.53, 0.55, 0.58, 0.60, 0.63, 0.65, 0.70,

0.75, 0.80 y 0.88 mm. Cumpliendo la especificación de la norma que dice: la herramienta de medición debe ser capaz de medir un ancho de fisura de al menos 0.05 mm de la más cercana. Para verificar la precisión de las galgas metálicas se las midió con un micrómetro que tiene una precisión de 0.01 mm, con lo cual se verificó que las galgas metálicas son muy precisas.

**Figura 3.33. Juego de galgas metálicas.**



*Fuente: Elaboración propia*

### **Registro de Datos de la cámara ambiental**

Se toma los datos de la temperatura ambiente, la humedad higroscópica mediante un sensor de temperatura y humedad (higrómetro), posteriormente se registra el dato de la velocidad del viento mediante el anemómetro.

**Figura 3.34. Higrómetro que registra la humedad y la temperatura ambiente.**



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.35. Anemómetro que registra la velocidad del viento y la temperatura del ambiente.**



*Fuente: Elaboración propia*

#### **Procedimiento del ensayo.**

Los pasos para realizar el ensayo retracción plástica son los siguientes:

- ✚ Primeramente, se cubre la base y las paredes de los moldes metálicos con aceite desmoldante para reducir la adherencia entre el molde y el hormigón.

**Figura 3.36. Moldes antes del ensayo.**



*Fuente: Elaboración propia*

- ✚ Determinar el asentamiento de cada mezcla de conformidad con método de prueba cono de abrams. Si el asentamiento es demasiado bajo para una

mezcla de hormigón que contiene fibras, utilice el tiempo de flujo a través de un cono de asentamiento invertido para medir la trabajabilidad.

- ✚ Llenar los moldes del panel utilizando una capa. Consolidar el hormigón con vibración externa hasta que el hormigón este nivelado aproximadamente con la parte superior del molde. Enrasar cada muestra perpendicular al elevador de tensión tres veces.
- ✚ Después de nivelar, las muestras usando una paleta predeterminado número de pasadas. Si la pérdida de humedad es determinada desde el panel, eliminar cualquier adherencia de hormigón residual en el exterior del molde y pesar cada panel mientras esté en el molde.
- ✚ Coloque un panel de mezcla de hormigón reforzado con fibra y un panel de mezcla de control en la cámara ambiental aguas abajo desde el ventilador

**Figura 3.37. Paneles de hormigón en la cámara ambientada.**



*Fuente: Elaboración propia*

- ✚ Se enciende el ventilador y el calentador, que han sido preestablecidos para lograr las condiciones medioambientales que garantiza la evaporación necesaria. La evaluación de fisuras comienza en este momento.
- ✚ Al comienzo de la prueba y a intervalos de 30 min, registrar la temperatura del aire, humedad relativa, y la velocidad de flujo de aire en una ubicación  $100 \pm 5$  mm por encima de cada superficie del panel.
- ✚ Para la prueba, la temperatura debe mantenerse a  $36 \pm 3$  °C, la humedad relativa a  $30 \pm 10\%$ , la velocidad del viento debe ser suficiente para mantener la tasa mínima de evaporación de  $1 \text{ kg/m}^2/\text{h}$ . La velocidad del viento de  $4,7 \text{ m/s}$  en la mayoría de casos es suficiente para alcanzar la mínima tasa de evaporación especificada, pero una velocidad del viento

superior puede ser necesaria para obtener el promedio suficiente de ancho de fisura en algunos paneles de control. Se debe medir la temperatura al 0,5 °C más cercano, humedad relativa al 1% más cercano y la velocidad del aire con una precisión de 0,1 m/s.

- La tasa de evaporación se determina por pesaje inicialmente de las fuentes de completo monitoreo al inicio de la prueba y en intervalos de 30 min a partir de entonces. Anote la pérdida de masa al 5 g más cercano en cada pesaje. Para determinar la tasa de evaporación durante cada intervalo de tiempo, divida la pérdida de masa entre sucesivos pesajes por la superficie del agua en el platillo y el intervalo de tiempo entre pesadas sucesivas. La prueba no es válida si la tasa media de la evaporación es menor a 1,0 kg/m<sup>2</sup> •h.

**Figura 3.38. Paneles de hormigón con las fuentes de monitoreo.**



*Fuente: Elaboración propia*

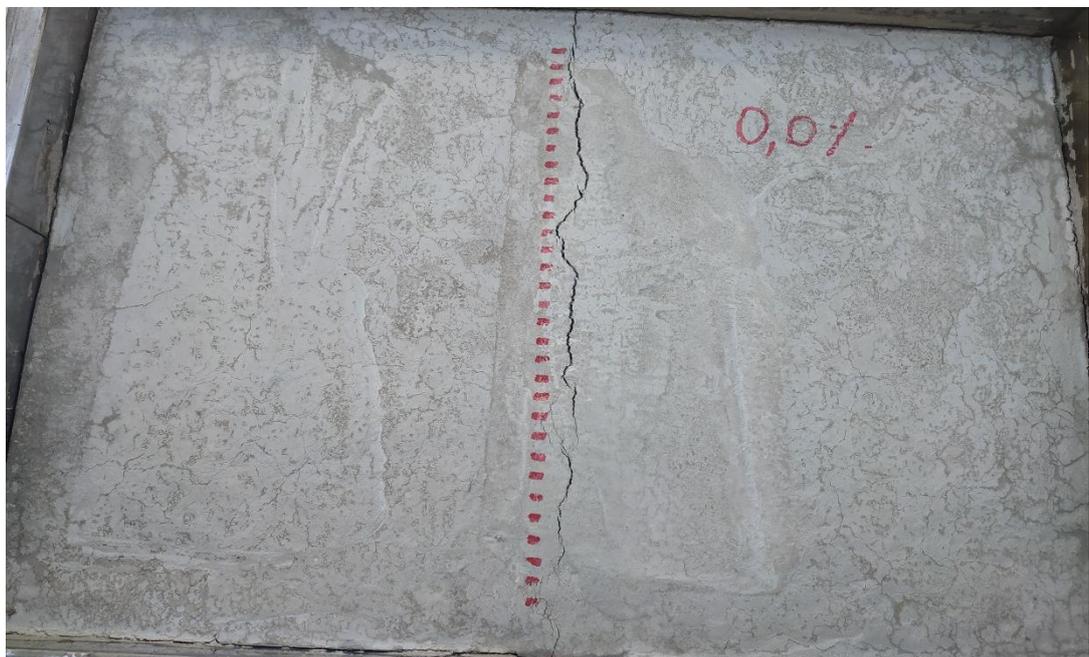
- La unidad de prueba se compone de al menos dos muestras de control y al menos dos especímenes de hormigón reforzado con fibras con las mismas proporciones de la mezcla. Un grupo de dos muestras de control tienen que ser probadas cada vez con el fin de determinar la reducción de las fisuras por retracción plástica del hormigón reforzado con fibras.

#### **Cuantificación de fisuras.**

- Se cuantifica la fisura mediante la medición del ancho de fisura en la superficie de los paneles  $24 \pm 2$  h después del mezclado inicial.

- ✚ A fin de evitar los posibles efectos de los límites del panel sobre el ancho de la fisura, no se debe medir los anchos de fisura dentro de los 25 mm límites del panel de prueba.
- ✚ Se mide el ancho de cada fisura a lo largo de la trayectoria de fisuración sobre el elevador de tensión, en un orden progresivo desde un lado del panel al otro. Se mide el ancho de fisura al más cercano 0,1 mm a intervalos de  $10 \pm 1$  mm a lo largo de la longitud de la fisura. Se registran todos los anchos de fisuración para calcular el ancho medio de fisura.

**Figura 3.39. Manera de cuantificar las fisuras.**



*Fuente: Elaboración propia*

- ✚ Se calcula el ancho medio de fisura al más cercano 0.05 mm. Si un ancho de fisura medio de al menos 0.5 mm no es observado en los paneles de control, si un panel de control único da como ancho de fisura promedio menor 0,4 mm, la prueba no es válida. En ese caso se debe aumentar la tasa de evaporación para alcanzar el mínimo ancho de fisura medio, y repetir la prueba.

- ✚ Se calcula la relación de reducción de fisuras (RRF) con la siguiente expresión:

$$RRF = \left[ 1 - \frac{\text{Ancho de fisura del hormigón reforzado con fibras}}{\text{Ancho de fisura del hormigón de control}} \right] \times 100 \%$$

### 3.10. Resultados del ensayo de retracción plástica ASTM C1579

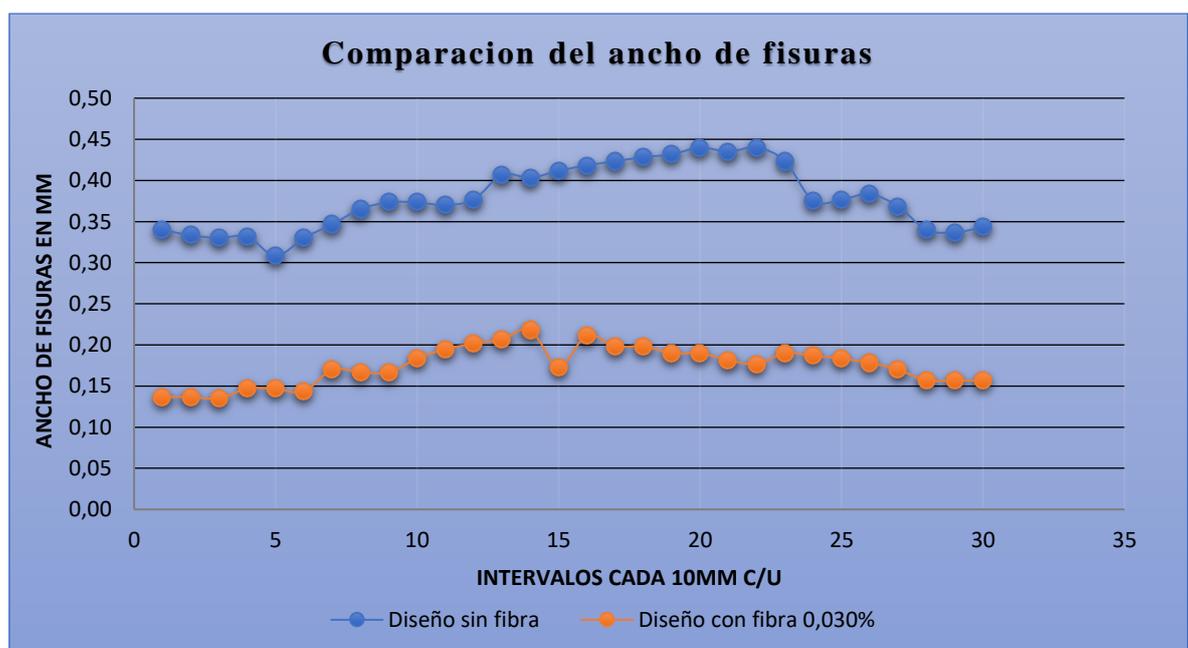
En las tablas y figuras siguientes mostraremos los resultados del panel hormigonado sin microfibra de polipropileno en función al panel hormigonado con microfibra de polipropileno para cada una de las dosificaciones.

**Tabla 3.19. Resultados obtenidos en los ensayos de retracción plástica ASTM C1579 "0,00% vs 0,03%"**

Tipo de fibra	Dosis	Numero de paneles	Primera fisura	Ancho promedio de fisura mm	Desviación estándar mm	CRR %
microfibra de polipropileno	0,00%	6	1h 24min	0,44	0,05	0,00
	0,03%	6	2h 20min	0,18	0,04	53,38

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.40. Anchos de fisura en función a intervalos de 10 mm a diseño de panel sin microfibra y panel con microfibra al 0.03%**



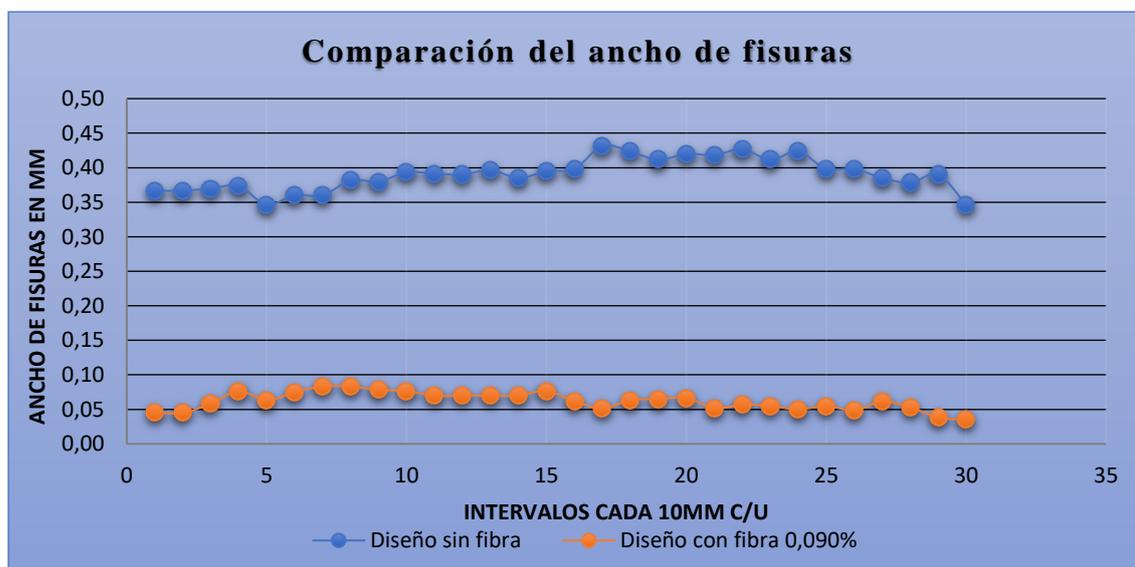
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 3.20. Resultados obtenidos en los ensayos de retracción plástica ASTM C1579 "0,00% vs 0,09%"**

Tipo de fibra	Dosis	Numero de paneles	Primera fisura	Ancho promedio de fisura mm	Desviación estándar mm	CRR %
microfibra de polipropileno	0,00%	6	1h 24min	0,42	0,05	0,00
	0,09%	6	3h 18min	0,06	0,03	84,25

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.41. Anchos de fisura en función a intervalos de 10 mm a diseño de panel sin microfibra y panel con microfibra al 0.09%**



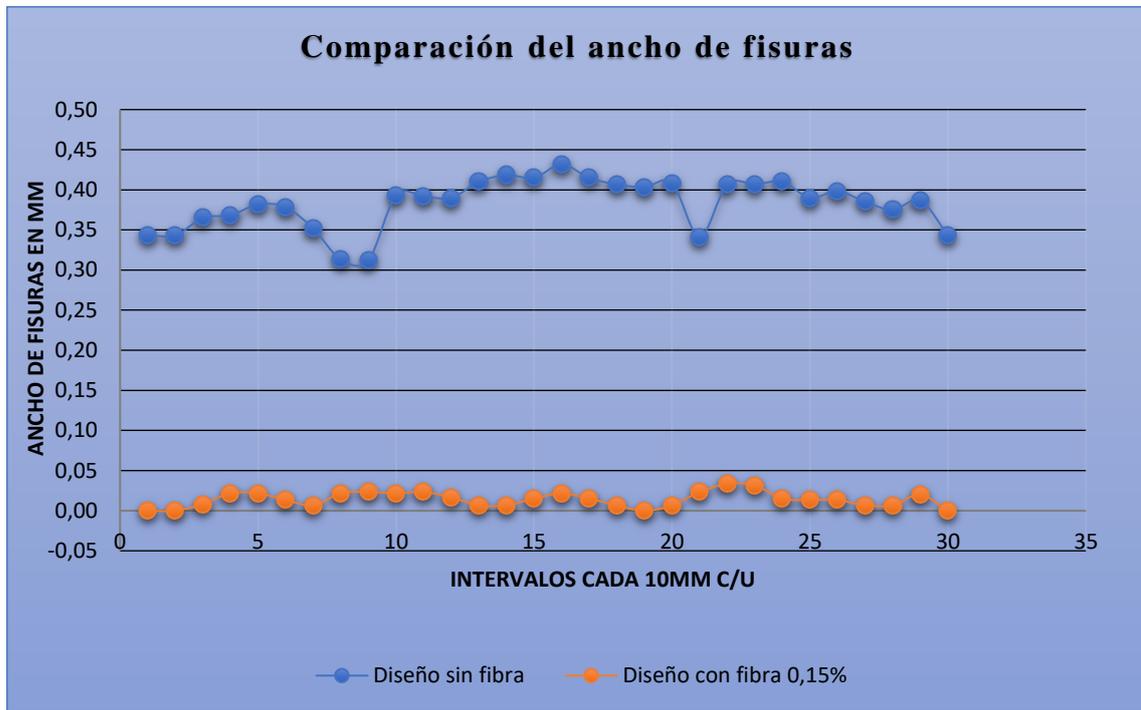
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 3.21. Resultados obtenidos en los ensayos de retracción plástica ASTM C1579 "0,00% vs 0,15%"**

Tipo de fibra	Dosis	Numero de paneles	Primera fisura	Ancho promedio de fisura mm	Desviación estándar mm	CRR %
microfibra de polipropileno	0,00%	6	1h 30min	0,41	0,06	0,00
	0,15%	6	5h 17min	0,01	0,02	96,32

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.42. Anchos de fisura en función a intervalos de 10 mm a diseño de panel sin microfibras y panel con microfibras al 0.15%**



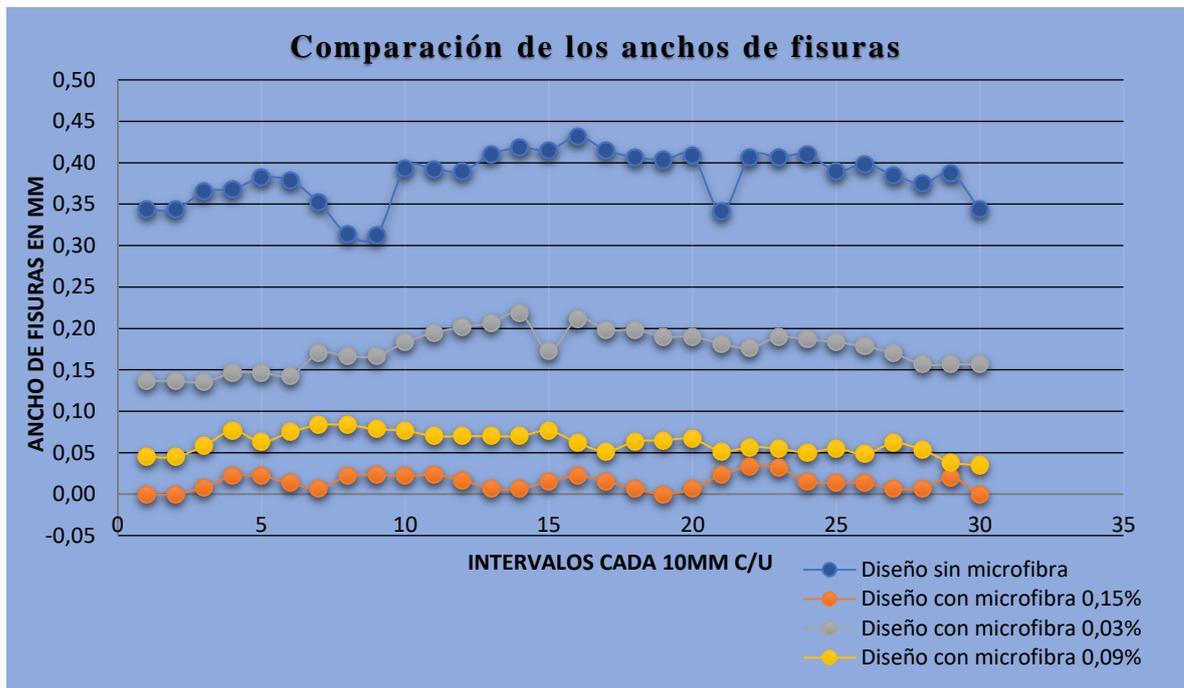
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 3.22. Resultados obtenidos en los ensayos de retracción plástica ASTM C1579 "0,00% vs 0,03% vs 0,09% vs 0,15%"**

Tipo de fibra	Dosis	Numero de paneles	Primera fisura	Ancho promedio de fisura mm	Desviación estándar mm	CRR %
microfibra de polipropileno	0,00%	6,0	1h 24min	0,44	0,05	0,00
	0,03%	6,0	2h 20min	0,18	0,04	53,38
microfibra de polipropileno	0,00%	6,0	1h 24min	0,42	0,05	0,00
	0,09%	6,0	3h 18min	0,06	0,03	84,25
microfibra de polipropileno	0,00%	6,0	1h 30min	0,41	0,06	0,00
	0,15%	6,0	5h 17min	0,01	0,02	96,32

*Fuente: Elaboración propia*

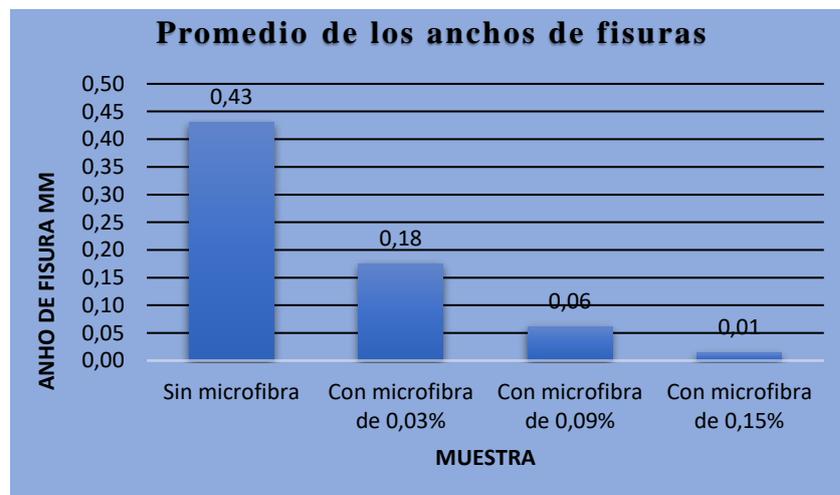
**Figura 3.43. Comparación de los anchos de fisura sin microfibra y con microfibra**



*Fuente: Elaboración propia*

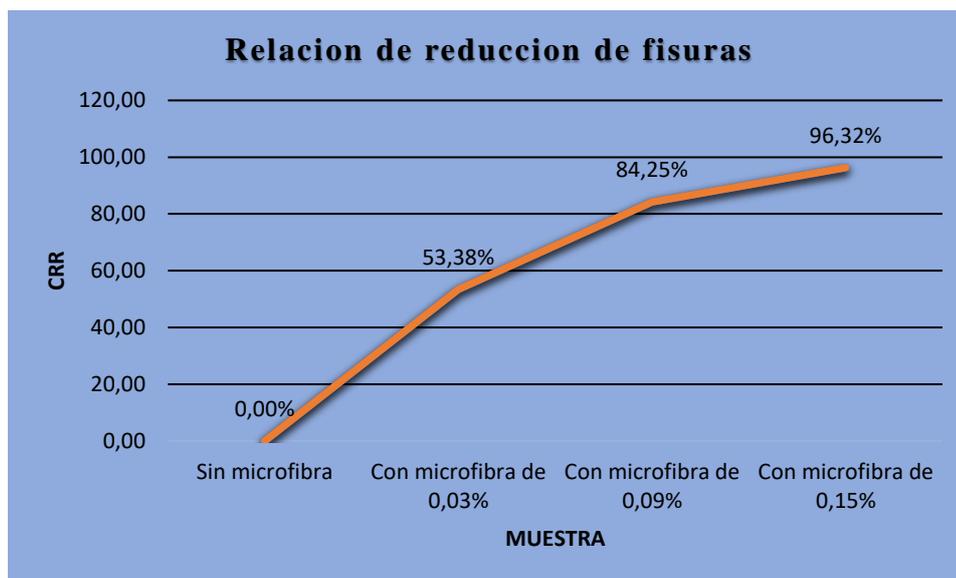
En la Figura 3.44, se puede observar que a mayor cantidad de microfibra de polipropileno el promedio de espesores de las fisuras disminuye en comparación al hormigón de mezcla patrón, como también en la Figura 3.45 se muestra el valor de reducción de grietas tiene una curva ascendente ya que a mayor microfibra de polipropileno las fisuras por retracción plástica disminuyen en longitud como en espesor.

**Figura 3.44. Promedio general de los anchos de fisuras**



*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.45. Comparación de la relación de reducción de fisuras (CRR)**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.11. Análisis estadístico

Después de obtener los resultados de los ensayos de tracción de las muestras, se realizó un análisis estadístico, para el mismo se utilizó los parámetros de control, de tal manera que se puedan utilizar indicadores estadísticos para el cual se implementó las recomendaciones y los procedimientos estadísticos para el aseguramiento de calidad del hormigón según la tabla de la ACI-214R para establecer el grado de control según la desviación estándar con la siguiente tabla.

**Tabla 3.23. Valores de referencia la desviación estándar para establecer la calidad del hormigón**

S (kg/cm <sup>2</sup> )	Grado de control
<28	Excelente
28 a35	Muy bueno
35 a 42	Bueno
42 a 49	Regular
>49	Pobre

*Fuente: Comité ACI- 214R*

Una vez ensayados las probetas de hormigón se determinó la resistencia característica para aquel valor que presenta un grado de confianza del 95%, esto significa que tan solo el 5% de los ensayos puede caer por debajo del valor establecido como resistencia característica o de diseño, es decir, que existe una probabilidad de 95% de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas más altos que  $f_{ck}$  mediante el empleo de la estadística básica por el método de Student se obtuvo la resistencia característica de la siguiente manera:

$$f_{ck} = f_{cm} - t_s$$

Donde:

$f_{ck}$  = Resistencia característica (obtenida a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras) (kg/cm<sup>2</sup>)

$f_{cm}$  = Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)

$t$  = Coeficiente de Student

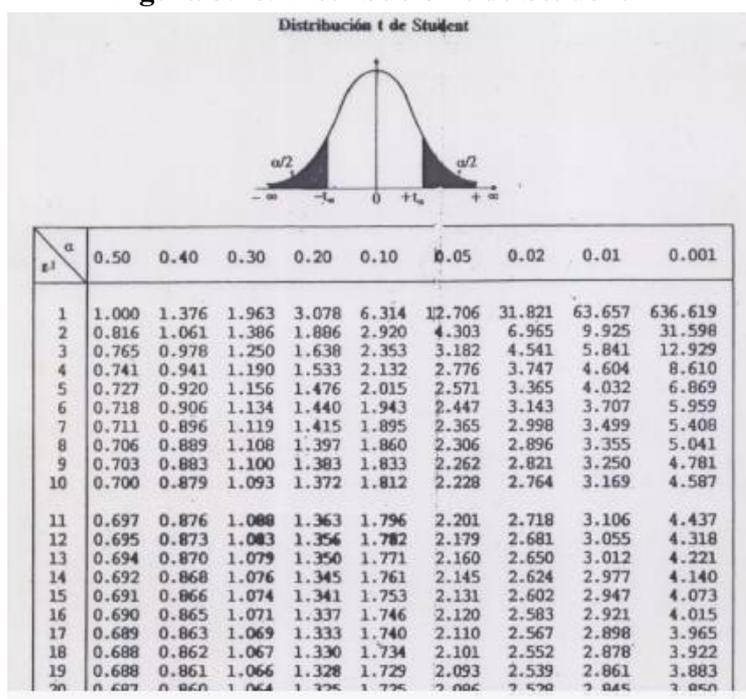
$s$  = Desviación estándar

Para implementar el plan de aceptación se realizó como parámetro de control de acuerdo a la sección ACI-325,9R-8 y versiones posteriores, se basa que el hormigón será considerado satisfactorio si cumple con los siguientes criterios:

- ✚ Criterio 1 Recomienda, en su numeral 3.5 que cada promedio aritmético de tres ensayos consecutivos (media móvil) debe ser igual o superior a la resistencia de diseño  $f_{ck}'$ .
- ✚ Criterio 2 En caso de resistencia a la tracción, ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> 0.5 Mpa de la resistencia de diseño y en caso de que se haya fijado un valor de resistencia a la compresión, ningún valor puede ser menor en 35 kg/cm<sup>2</sup> 3.5 Mpa.

Es importante construir gráficos de promedios móviles cada tres ensayos, los cuales suavizan los gráficos de ensayos individuales de comportamiento del hormigón y permiten tener un mejor criterio del grado de uniformidad que se está alcanzando en obra. Para el presente análisis no se realizó los promedios móviles debido al poco número de datos no fue necesario suavizar los gráficos.

Figura 3.46. Distribución t de Student



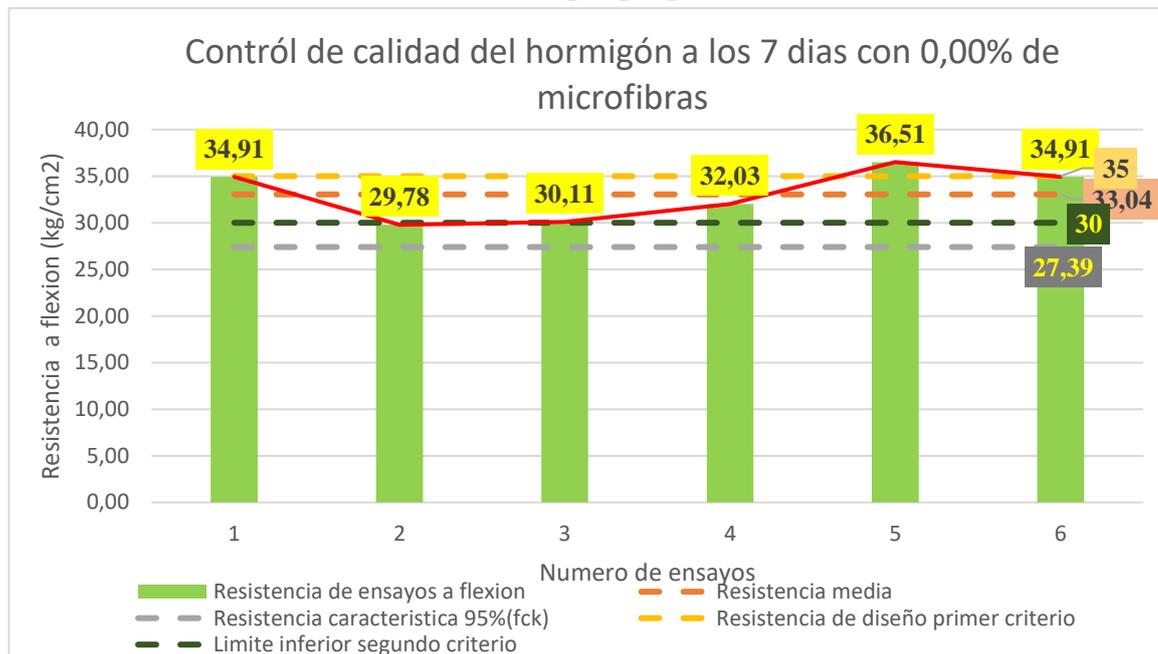
Fuente: William Sealy Gosset

Tabla 3.24 Resistencia a tracción a los 7 días con 0,00% de microfibra de polipropileno

Hormigon patron					
% de microfibra	Edad (días)	# de ensayos	Resistencia (fct)	Primer criterio	Segundo criterio
0,00%	7	1	34,91	NO Cumple	Cumple
	7	2	29,78	NO Cumple	Cumple
	7	3	30,11	NO Cumple	Cumple
	7	4	32,03	NO Cumple	Cumple
	7	5	36,51	NO Cumple	Cumple
	7	6	34,91	NO Cumple	Cumple
Resistencia media (fcm)		X(kg/cm <sup>2</sup> )	33,04		
Cantidad		N°	6		
Varianza		S <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	7,854		
desiacion estandar		S(kg/cm <sup>2</sup> )	2,802		
Coeficiente de variacion		CV %	8,482		
Grado de control		Excelente			
Grados de libertad		gl	5		
Nivel de significancia		$\alpha$	0,05		
Coeficiente t student		t	2,015		
Resistencia caracteristica 95% (fck)		(kg/cm <sup>2</sup> )	27,39		
Resistencia de diseño (fck')		(kg/cm <sup>2</sup> )	35		
Limite inferior		(kg/cm <sup>2</sup> )	30		

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.47. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 7 días con 0,00% de microfibra de polipropileno**



De la tabla 3.24. de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 2,802 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a tracción con el 0,00% de microfibra de polipropileno a los 7 días de curado dando un grado de control es excelente según la tabla 3.23. de la ACI-214R.

En la figura 3.47. se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a tracción aceptables ya que está por encima del límite inferior a excepción del ensayo dos q está por debajo.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a tracción no cumplen con el promedio aritmético de tres ensayos consecutivos debe ser igual o superior a la resistencia de diseño fck' esto se debe a que la edad del hormigo es muy temprana no tiene la resistencia máxima a la que puede llegar.

En el cumpliendo del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, vale decir, nuestros datos cumplen siendo mayores al límite inferior de 30 kg/cm<sup>2</sup> a excepción del ensayo dos.

Se puede ver también el máximo valor de resistencia a tracción de 36,51 kg/cm<sup>2</sup> y el mínimo de 29,78kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días de ensayo, el primero cumpliendo con los dos criterios, y el segundo no cumple ninguno.

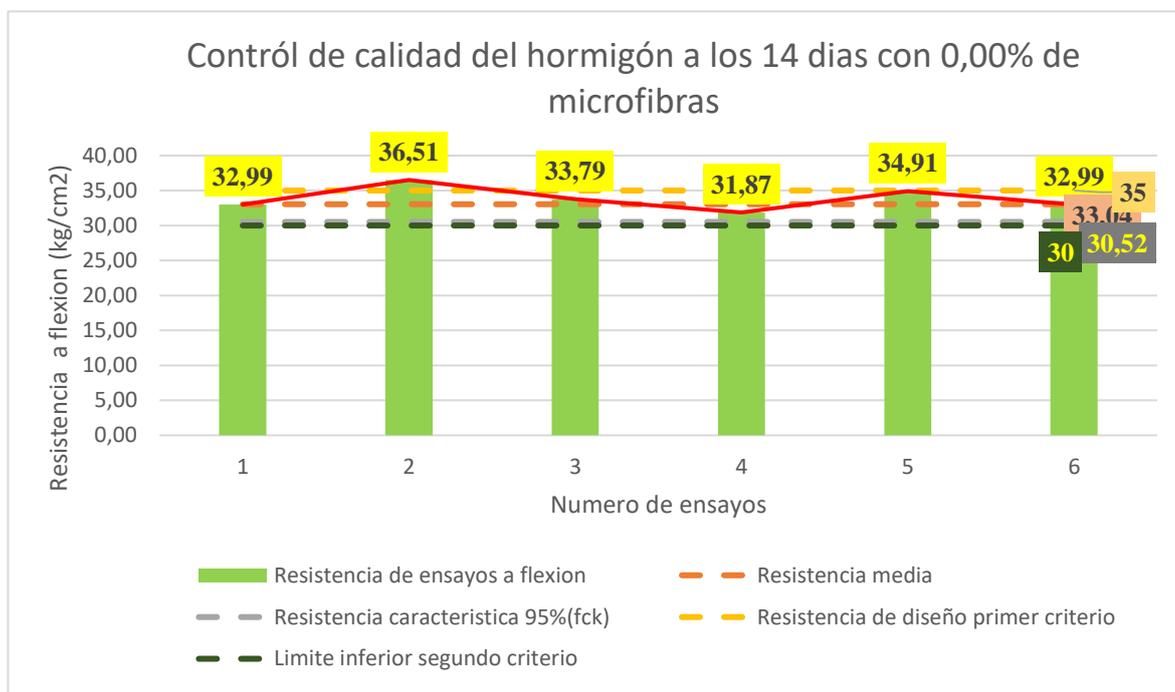
Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras es de 27,39 kg/cm<sup>2</sup> no cumpliendo con ningún criterio.

**Tabla 3.25. Resistencia a tracción a los 14 días con 0,00% de microfibra de polipropileno**

<b>Hormigón patrón</b>					
<b>% de microfibra</b>	<b>Edad (días)</b>	<b># de ensayos</b>	<b>Resistencia (fct)</b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
0,00%	14	1	32,99	No cumple	Cumple
	14	2	36,51	Cumple	Cumple
	14	3	33,79	No cumple	Cumple
	14	4	31,87	No cumple	Cumple
	14	5	34,91	No cumple	Cumple
	14	6	32,99	No cumple	Cumple
Resistencia media (fcm)		X(kg/cm <sup>2</sup> )	33,84		
Cantidad		N°	6		
Varianza		S <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	2,725		
Desviación estándar		S(kg/cm <sup>2</sup> )	1,651		
Coeficiente de variación		CV %	4,878		
Grado de control		Excelente			
Grados de libertad		gl	5		
Nivel de significancia		$\alpha$	0,05		
Coeficiente t student		t	2,015		
Resistencia característica 95% (fck)		(kg/cm <sup>2</sup> )	30,52		
Resistencia de diseño (fck')		(kg/cm <sup>2</sup> )	35		
Límite inferior		(kg/cm <sup>2</sup> )	30		

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.48. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 14 días con 0,00% de microfibras de polipropileno**



De la tabla 3.25. de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 1,651 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a tracción con el 0,00% de microfibras de polipropileno a los 14 días de curado dando un grado de control es excelente según la tabla 3.23. de la ACI-214R.

En la figura 3.48. se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a tracción aceptables ya que está por encima del límite.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a tracción a excepción de uno no cumplen con el promedio aritmético de tres ensayos consecutivos debe ser igual o superior a la resistencia de diseño fck' esto se debe a que la edad del hormigón es muy temprana no tiene la resistencia máxima a la que puede llegar.

En el cumplimiento del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, vale decir, nuestros datos cumplen siendo mayores al límite inferior de 30 kg/cm<sup>2</sup>.

Se puede ver también el máximo valor de resistencia a tracción de 36,51 kg/cm<sup>2</sup> y el mínimo de 31,87kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días de ensayo, el primero cumpliendo con los dos criterios, y el segundo también.

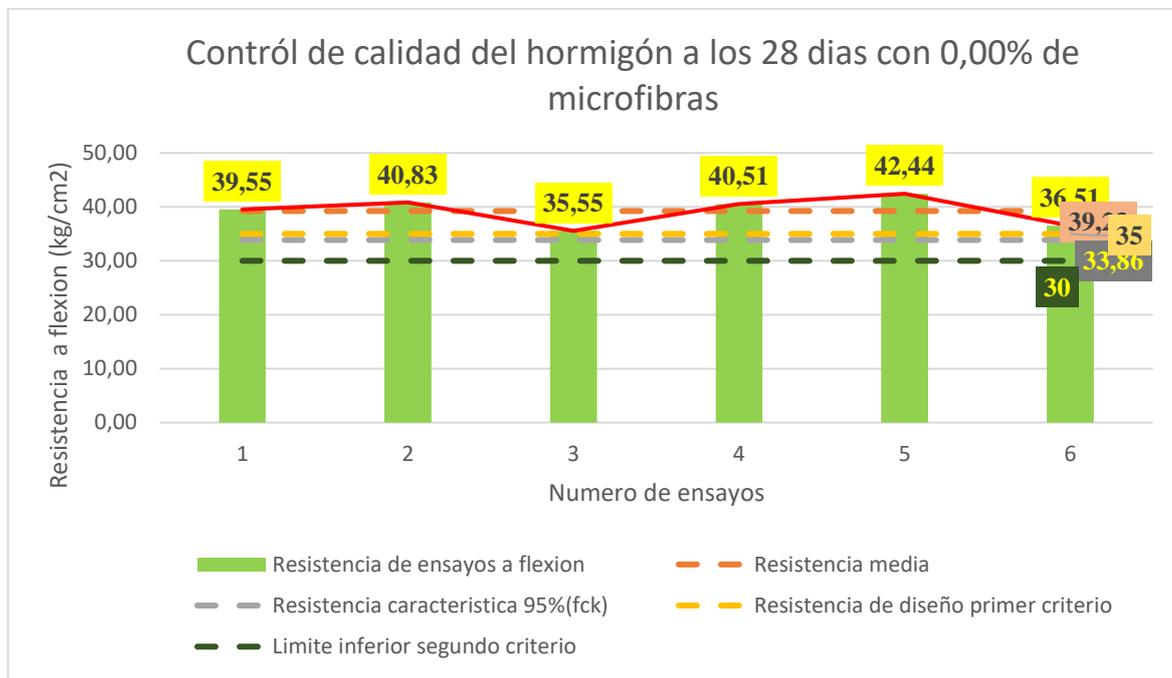
Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras es de 30,52 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo con los dos criterios.

**Tabla 3.26. Resistencia a tracción a los 28 días con 0,00% de microfibra de polipropileno**

<b>Hormigón patrón</b>					
<b>% de microfibra</b>	<b>Edad (días)</b>	<b># de ensayos</b>	<b>Resistencia (fct)</b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
0,00%	28	1	39,55	Cumple	Cumple
	28	2	40,83	Cumple	Cumple
	28	3	35,55	Cumple	Cumple
	28	4	40,51	Cumple	Cumple
	28	5	42,44	Cumple	Cumple
	28	6	36,51	Cumple	Cumple
Resistencia media (fcm)		X(kg/cm <sup>2</sup> )	39,23		
Cantidad		N°	6		
Varianza		S <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	7,108		
Desviación estándar		S(kg/cm <sup>2</sup> )	2,666		
Coeficiente de variación		CV %	6,796		
Grado de control		Excelente			
Grados de libertad		gl	5		
Nivel de significancia		$\alpha$	0,05		
Coeficiente t student		t	2,015		
Resistencia característica 95% (fck)		(kg/cm <sup>2</sup> )	33,86		
Resistencia de diseño (fck')		(kg/cm <sup>2</sup> )	35		
Límite inferior		(kg/cm <sup>2</sup> )	30		

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.49. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 28 días con 0,00% de microfibras de polipropileno**



*Fuente: Elaboración propia*

De la tabla 3.26. de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 2,666 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a tracción con el 0,00% de microfibras de polipropileno a los 28 días de curado dando un grado de control es excelente según la tabla 3.23. de la ACI-214R.

En la figura 3.49. se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a tracción aceptables ya que está por encima del límite inferior.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a tracción cumplen con el promedio aritmético de tres ensayos consecutivos debe ser igual o superior a la resistencia de diseño fck'.

En el cumplimiento del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, vale decir, nuestros datos cumplen siendo mayores al límite inferior de 30 kg/cm<sup>2</sup>.

Se puede ver también el máximo valor de resistencia a tracción de 42,44 kg/cm<sup>2</sup> y el mínimo de 35,55 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de ensayo, el primero y segundo cumpliendo con los dos criterios.

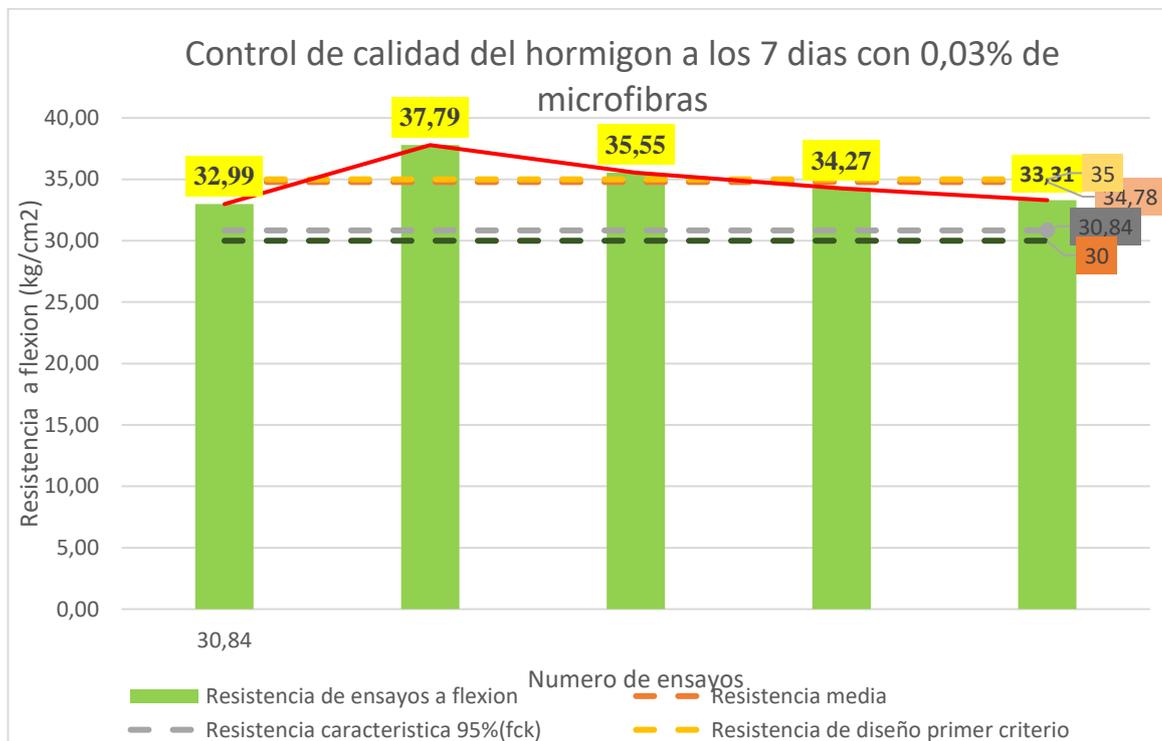
Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras es de 36,86 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo con los dos criterios.

**Tabla 3.27. Resistencia a tracción a los 7 días con 0,03% de microfibras de polipropileno**

<b>Hormigón con microfibras</b>					
<b>% de microfibras</b>	<b>Edad (días)</b>	<b># de ensayos</b>	<b>Resistencia (fct)</b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
0,03%	7	1	32,99	No cumple	Cumple
	7	2	37,79	Cumple	Cumple
	7	3	35,55	Cumple	Cumple
	7	4	34,27	No cumple	Cumple
	7	5	33,31	No cumple	Cumple
Resistencia media (fcm)		X(kg/cm <sup>2</sup> )	34,78		
Cantidad		N°	5		
Varianza		S <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	3,826		
desviación estándar		S(kg/cm <sup>2</sup> )	1,956		
Coeficiente de variación		CV %	5,624		
Grado de control		Excelente			
Grados de libertad		gl	4		
Nivel de significancia		$\alpha$	0,05		
Coeficiente t student		t	2,015		
Resistencia característica 95% (fck)		(kg/cm <sup>2</sup> )	30,84		
Resistencia de diseño (fck')		(kg/cm <sup>2</sup> )	35		
Límite inferior		(kg/cm <sup>2</sup> )	30		

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.50. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 7 días con 0,03% de microfibra de polipropileno**



*Fuente: Elaboración propia*

De la tabla 3.27. de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 4,850 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a tracción con el 0,03% de microfibra de polipropileno a los 7 días de curado dando un grado de control es excelente según la tabla 3.23. de la ACI-214R.

En la figura 3.50. se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a tracción aceptables ya que está por encima del límite inferior a excepción del ensayo cuatro q está por debajo.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a tracción no cumplen con el promedio aritmético de tres ensayos consecutivos debe ser igual o superior a la resistencia de diseño f<sub>ck</sub>', a excepción de dos ensayos esto se debe a que la edad del hormigon es muy temprana no tiene la resistencia máxima a la que puede llegar. En el cumpliendo del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, vale decir, nuestros datos cumplen siendo mayores al límite inferior de 30 kg/cm<sup>2</sup> a excepción del ensayo cuatro.

Se puede ver también el máximo valor de resistencia a tracción de 37,79 kg/cm<sup>2</sup> y el mínimo de 23,70 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días de ensayo, el primero cumpliendo con los dos criterios, y el segundo no cumple ninguno.

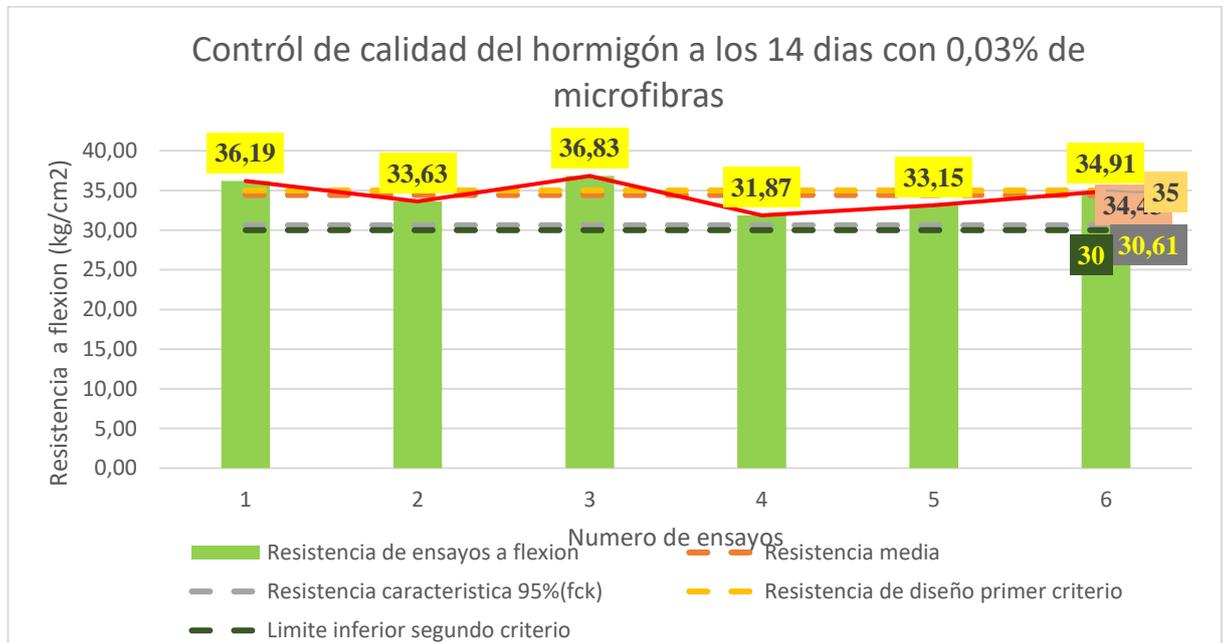
Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras es de 23,16 kg/cm<sup>2</sup> no cumpliendo con ningún criterio.

**Tabla 3.28. Resistencia a tracción a los 14 días con 0,03% de microfibra de polipropileno**

<b>Hormigón con microfibra</b>					
<b>% de microfibra</b>	<b>Edad (días)</b>	<b># de ensayos</b>	<b>Resistencia (fct)</b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
0,03%	14	1	36,19	Cumple	Cumple
	14	2	33,63	No cumple	Cumple
	14	3	36,83	Cumple	Cumple
	14	4	31,87	No cumple	Cumple
	14	5	33,15	No cumple	Cumple
	14	6	34,91	No cumple	Cumple
Resistencia media (fcm)		X(kg/cm <sup>2</sup> )	34,43		
Cantidad		N°	6		
Varianza		S <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	3,590		
Desviación estándar		S(kg/cm <sup>2</sup> )	1,895		
Coeficiente de variación		CV %	5,503		
Grado de control		Excelente			
Grados de libertad		gl	5		
Nivel de significancia		$\alpha$	0,05		
Coeficiente t student		t	2,015		
Resistencia característica 95% (fck)		(kg/cm <sup>2</sup> )	30,61		
Resistencia de diseño (fck')		(kg/cm <sup>2</sup> )	35		
Límite inferior		(kg/cm <sup>2</sup> )	30		

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.51. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 14 días con 0,03% de microfibras de polipropileno**



*Fuente: Elaboración propia*

De la tabla 3.28. de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 1,895 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a tracción con el 0,03% de microfibras de polipropileno a los 14 días de curado dando un grado de control es excelente según la tabla 3.23. de la ACI-214R.

En la figura 3.51. se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a tracción aceptables ya que está por encima del límite inferior a excepción del ensayo un q está por debajo.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a tracción no cumplen con el promedio aritmético de tres ensayos consecutivos debe ser igual o superior a la resistencia de diseño fck' esto se debe a que la edad del hormigón es muy temprana no tiene la resistencia máxima a la que puede llegar.

En el cumplimiento del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, vale decir, nuestros datos cumplen siendo mayores al límite inferior de 30 kg/cm<sup>2</sup>.

Se puede ver también el máximo valor de resistencia a tracción de 36,86 kg/cm<sup>2</sup> y el mínimo de 31,87 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días de ensayo, el primero cumpliendo con los dos criterios, y el segundo cumple solamente uno.

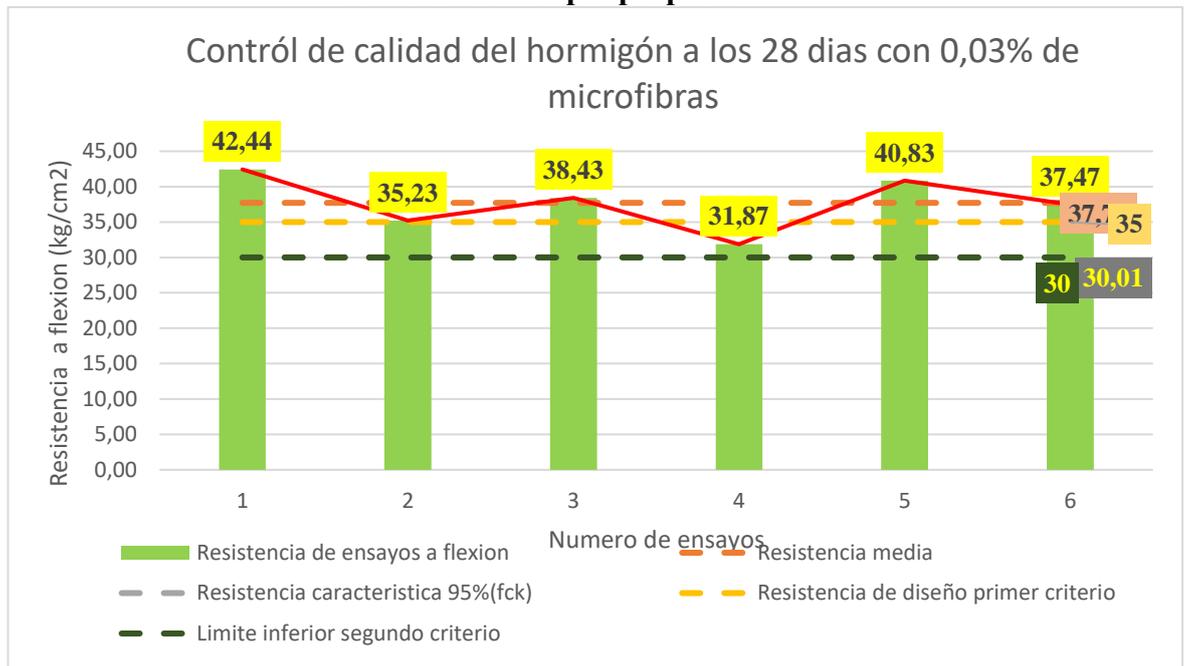
Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras es de 30,61 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo solamente con un criterio.

**Tabla 3.29. Resistencia a tracción a los 28 días con 0,03% de microfibra de polipropileno**

<b>Hormigón con microfibra</b>					
<b>% de microfibra</b>	<b>Edad (días)</b>	<b># de ensayos</b>	<b>Resistencia (fct)</b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
0,03%	28	1	42,44	Cumple	Cumple
	28	2	35,23	Cumple	Cumple
	28	3	38,43	Cumple	Cumple
	28	4	31,87	Cumple	Cumple
	28	5	40,83	Cumple	Cumple
	28	6	37,47	Cumple	Cumple
Resistencia media (fcm)		X(kg/cm <sup>2</sup> )	37,71		
Cantidad		N°	6		
Varianza		S <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	14,593		
Desviación estándar		S(kg/cm <sup>2</sup> )	3,820		
Coeficiente de variación		CV %	10,130		
Grado de control		Excelente			
Grados de libertad		gl	5		
Nivel de significancia		$\alpha$	0,05		
Coeficiente t student		t	2,015		
Resistencia característica 95% (fck)		(kg/cm <sup>2</sup> )	30,01		
Resistencia de diseño (fck')		(kg/cm <sup>2</sup> )	35		
Límite inferior		(kg/cm <sup>2</sup> )	30		

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.52. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 28 días con 0,03% de microfibra de polipropileno**



*Fuente: Elaboración propia*

De la tabla 3.29. de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 3,802 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a tracción con el 0,00% de microfibra de polipropileno a los 28 días de curado dando un grado de control es excelente según la tabla 3.23. de la ACI-214R.

La figura 3.52. se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a tracción aceptables ya que está por encima del límite inferior.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a tracción cumplen con el promedio aritmético de tres ensayos consecutivos debe ser igual o superior a la resistencia de diseño fck'.

En el cumplimiento del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, vale decir, nuestros datos cumplen siendo mayores al límite inferior de 30 kg/cm<sup>2</sup>.

Se puede ver también el máximo valor de resistencia a tracción de 42,44 kg/cm<sup>2</sup> y el mínimo de 31,87 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de ensayo, el primero y el segundo no cumple con los dos criterios.

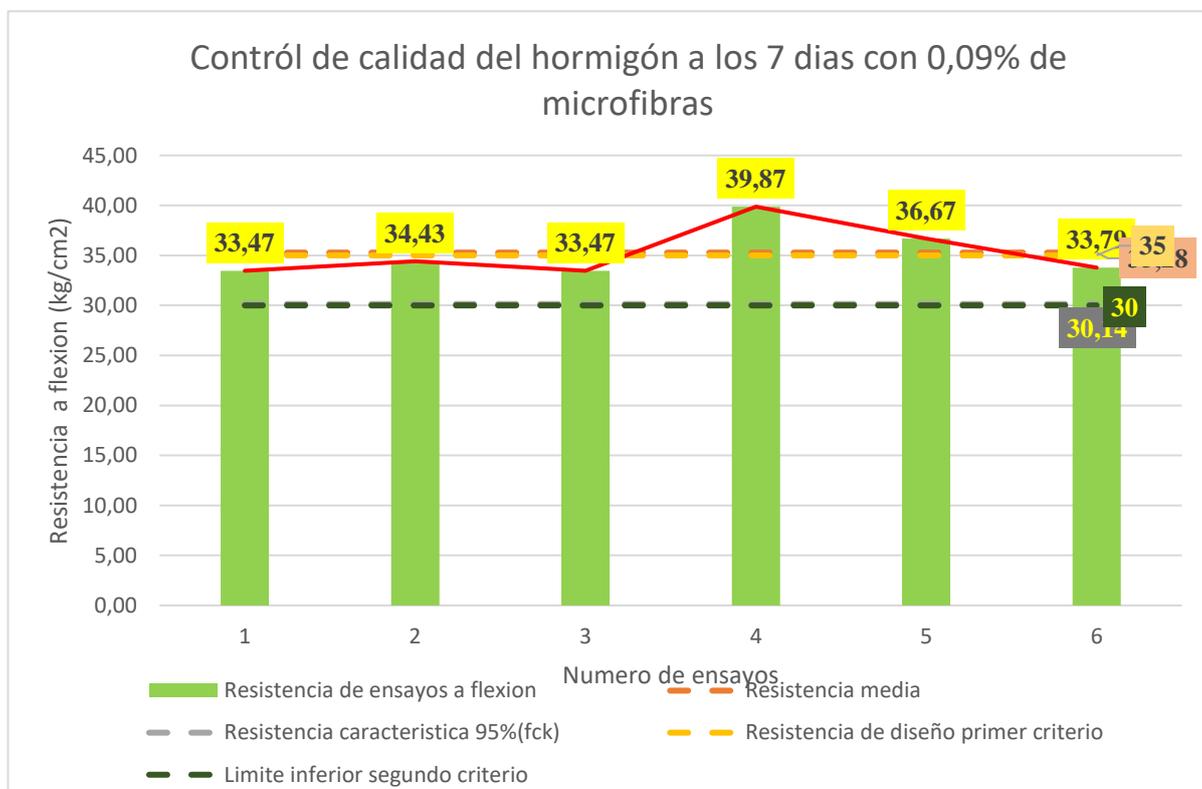
Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras es de 30,01 kg/cm<sup>2</sup> no cumpliendo con el primer criterio, pero si con el segundo criterio.

**Tabla 3.30 Resistencia a tracción a los 7 días con 0,09% de microfibra de polipropileno**

<b>Hormigón con microfibra</b>					
<b>% de microfibra</b>	<b>Edad (días)</b>	<b># de ensayos</b>	<b>Resistencia (fct)</b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
0,09%	7	1	33,47	No cumple	Cumple
	7	2	34,43	No cumple	Cumple
	7	3	33,47	No cumple	Cumple
	7	4	39,87	Cumple	Cumple
	7	5	36,67	Cumple	Cumple
	7	6	33,79	No cumple	Cumple
Resistencia media (fcm)		X(kg/cm <sup>2</sup> )	35,28		
Cantidad		N°	6		
Varianza		S <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	6,510		
Desviación estándar		S(kg/cm <sup>2</sup> )	2,551		
Coeficiente de variación		CV %	7,231		
Grado de control		Excelente			
Grados de libertad		gl	5		
Nivel de significancia		$\alpha$	0,05		
Coeficiente t student		t	2,015		
Resistencia característica 95% (fck)		(kg/cm <sup>2</sup> )	30,14		
Resistencia de diseño (fck')		(kg/cm <sup>2</sup> )	35		
Límite inferior		(kg/cm <sup>2</sup> )	30		

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.53. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 7 días con 0,09% de microfibra de polipropileno**



*Fuente: Elaboración propia*

De la tabla 3.30. de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 2,551 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a tracción con el 0,09% de microfibra de polipropileno a los 7 días de curado dando un grado de control es excelente según la tabla 3.23. de la ACI-214R.

En la figura 3.53. se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a tracción aceptables ya que está por encima del límite inferior.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a tracción a excepción de dos no cumplen con el promedio aritmético de tres ensayos consecutivos debe ser igual o superior a la resistencia de diseño fck' esto se debe a que la edad del hormigón es muy temprana no tiene la resistencia máxima a la que puede llegar.

En el cumplimiento del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, vale decir, nuestros datos cumplen siendo mayores al límite inferior de 30 kg/cm<sup>2</sup>.

Se puede ver también el máximo valor de resistencia a tracción de 39,87 kg/cm<sup>2</sup> y el mínimo de 33,47kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días de ensayo ambos cumpliendo con los dos criterios.

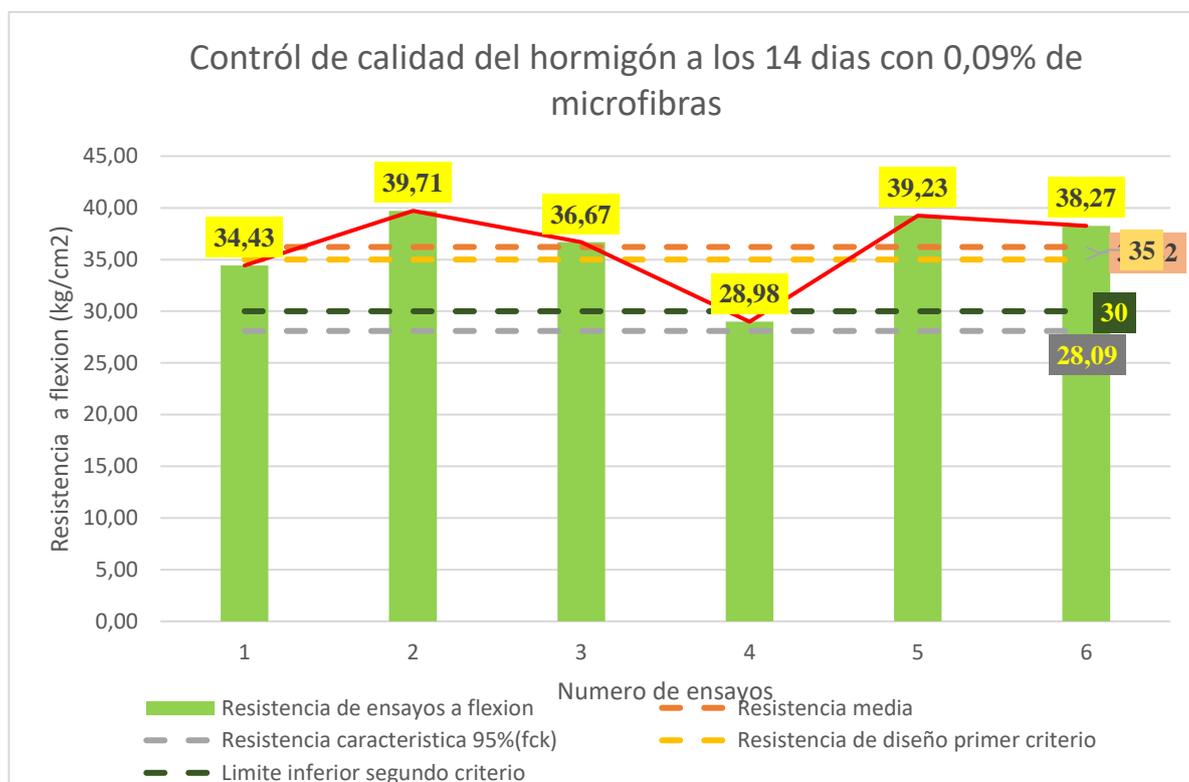
Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras es de 30,14 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo solamente con un criterio.

**Tabla 3.31 Resistencia a tracción a los 14 días con 0,09% de microfibra de polipropileno**

<b>Hormigón con microfibra</b>					
<b>% de microfibra</b>	<b>Edad (días)</b>	<b># de ensayos</b>	<b>Resistencia (fct)</b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
0,09%	14	1	34,43	No cumple	Cumple
	14	2	39,71	Cumple	Cumple
	14	3	36,67	Cumple	Cumple
	14	4	28,98	No cumple	No cumple
	14	5	39,23	Cumple	Cumple
	14	6	38,27	Cumple	Cumple
Resistencia media (fcm)		X(kg/cm <sup>2</sup> )	36,22		
Cantidad		N°	6		
Varianza		S <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	16,252		
Desviación estándar		S(kg/cm <sup>2</sup> )	4,031		
Coeficiente de variación		CV %	11,131		
Grado de control		Excelente			
Grados de libertad		gl	5		
Nivel de significancia		$\alpha$	0,05		
Coeficiente t student		t	2,015		
Resistencia característica 95% (fck)		(kg/cm <sup>2</sup> )	28,09		
Resistencia de diseño (fck')		(kg/cm <sup>2</sup> )	35		
Límite inferior		(kg/cm <sup>2</sup> )	30		

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.54. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 14 días con 0,09% de microfibras de polipropileno**



*Fuente: Elaboración propia*

De la tabla 3.31. de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 4,031 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a tracción con el 0,09% de microfibras de polipropileno a los 14 días de curado dando un grado de control es excelente según la tabla 3.23. de la ACI-214R.

En la figura 3.54. se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a tracción aceptables ya que está por encima del límite inferior a excepción del ensayo cuatro q está por debajo.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a tracción cumplen con el promedio aritmético de tres ensayos consecutivos debe ser igual o superior a la resistencia de diseño  $f_{ck}'$  a excepción de dos.

En el cumpliendo del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, vale decir, nuestros datos cumplen siendo mayores al límite inferior de 30 kg/cm<sup>2</sup> a excepción del ensayo cuatro.

Se puede ver también el máximo valor de resistencia a tracción de 39,71 kg/cm<sup>2</sup> y el mínimo de 28,98kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días de ensayo, el primero cumpliendo con los dos criterios, y el segundo no cumple ninguno.

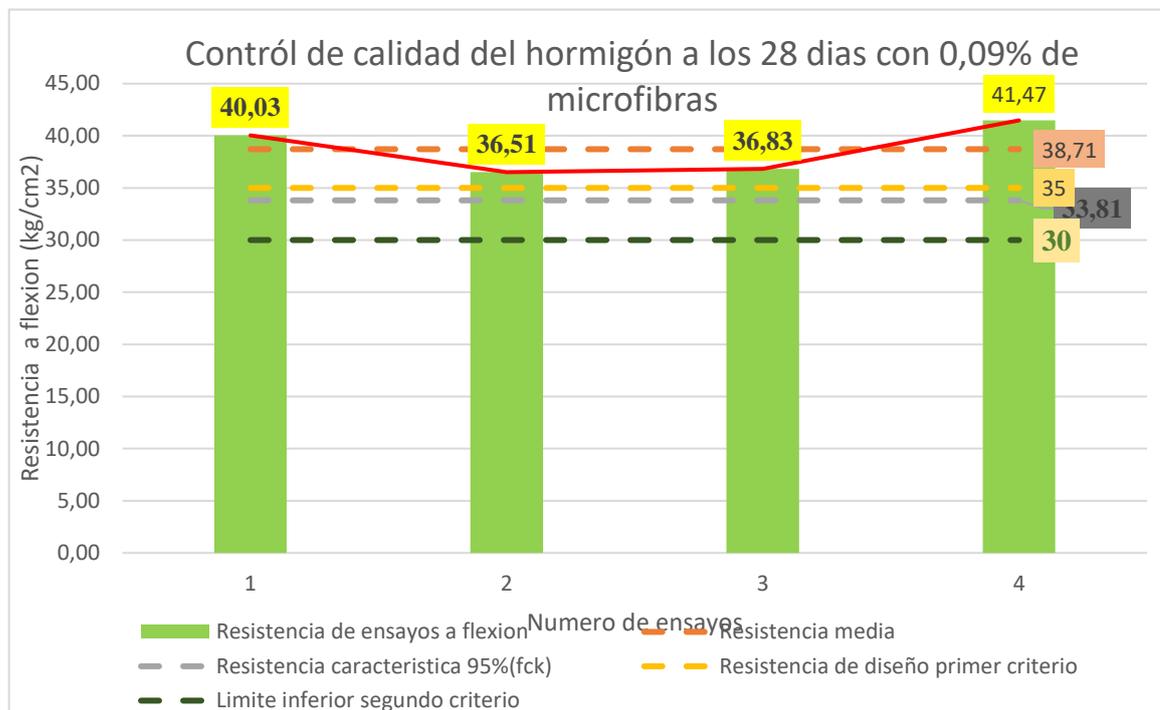
Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras es de 28,09 kg/cm<sup>2</sup> no cumpliendo con ningún criterio.

**Tabla 3.32 Resistencia a tracción a los 28 días con 0,09% de microfibra de polipropileno**

<b>Hormigón con microfibra</b>					
<b>% de microfibra</b>	<b>Edad (días)</b>	<b># de ensayos</b>	<b>Resistencia (fct)</b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
0,09%	28	1	40,03	Cumple	Cumple
	28	2	36,51	Cumple	Cumple
	28	3	36,83	Cumple	Cumple
	28	4	41,47	Cumple	Cumple
Resistencia media (fcm)		X(kg/cm <sup>2</sup> )	38,71		
Cantidad		N°	4		
Varianza		S <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	5,921		
Desviación estándar		S(kg/cm <sup>2</sup> )	2,433		
Coeficiente de variación		CV %	6,286		
Grado de control		Excelente			
Grados de libertad		gl	5		
Nivel de significancia		$\alpha$	0,05		
Coeficiente t student		t	2,015		
Resistencia característica 95% (fck)		(kg/cm <sup>2</sup> )	33,81		
Resistencia de diseño (fck')		(kg/cm <sup>2</sup> )	35		
Límite inferior		(kg/cm <sup>2</sup> )	30		

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.55. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 28 días con 0,09% de microfibra de polipropileno**



*Fuente: Elaboración propia*

De la tabla 3.32. de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 19,790 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a tracción con el 0,09% de microfibra de polipropileno a los 28 días de curado dando un grado de control es excelente según la tabla 3.23. de la ACI-214R.

En la figura 3.55. se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a tracción aceptables ya que está por encima del límite.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a tracción cumplen con el promedio aritmético de tres ensayos consecutivos debe ser igual o superior a la resistencia de diseño  $f_{ck}'$ .

En el cumpliendo del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, vale decir, nuestros datos cumplen siendo mayores al límite inferior de 30 kg/cm<sup>2</sup>.

Se puede ver también el máximo valor de resistencia a tracción de 80,55 kg/cm<sup>2</sup> y el mínimo de 36,51 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de ensayo, el primero y el segundo cumple con los dos criterios.

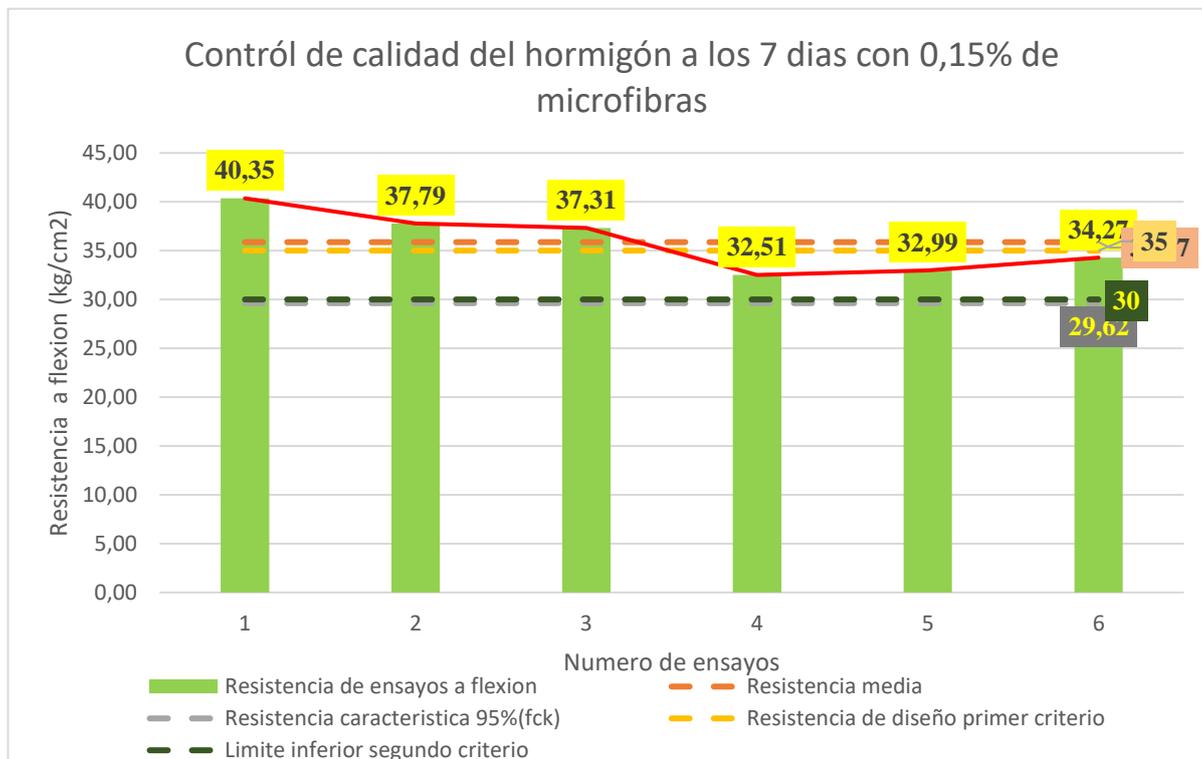
Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras es de 11,45 kg/cm<sup>2</sup> no cumpliendo con ningún criterio.

**Tabla 3.33 Resistencia a tracción a los 7 días con 0,15% de microfibra de polipropileno**

<b>Hormigón con microfibra</b>					
<b>% de microfibra</b>	<b>Edad (días)</b>	<b># de ensayos</b>	<b>Resistencia (fct)</b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
0,15%	7	1	40,35	Cumple	Cumple
	7	2	37,79	Cumple	Cumple
	7	3	37,31	Cumple	Cumple
	7	4	32,51	No cumple	Cumple
	7	5	32,99	No cumple	Cumple
	7	6	34,27	No cumple	Cumple
Resistencia media (fcm)		X(kg/cm <sup>2</sup> )	35,87		
Cantidad		N°	6		
Varianza		S <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	9,611		
Desviación estándar		S(kg/cm <sup>2</sup> )	3,100		
Coeficiente de variación		CV %	8,643		
Grado de control		Excelente			
Grados de libertad		gl	5		
Nivel de significancia		$\alpha$	0,05		
Coeficiente t student		t	2,015		
Resistencia característica 95% (fck)		(kg/cm <sup>2</sup> )	29,62		
Resistencia de diseño (fck')		(kg/cm <sup>2</sup> )	35		
Límite inferior		(kg/cm <sup>2</sup> )	30		

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.56. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 7 días con 0,15% de microfibra de polipropileno**



*Fuente: Elaboración propia*

De la tabla 3.33. de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 3,100 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a tracción con el 0,15% de microfibra de polipropileno a los 7 días de curado dando un grado de control es excelente según la tabla 3.23. de la ACI-214R.

En la figura 3.56. se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a tracción aceptables ya que está por encima del límite inferior.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a tracción cumplen con el promedio aritmético de tres ensayos consecutivos debe ser igual o superior a la resistencia de diseño  $f_{ck}'$  a excepción de los últimos tres ensayos, esto se debe a que la edad del hormigón es muy temprana no tiene la resistencia máxima a la que puede llegar.

En el cumplimiento del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, vale decir, nuestros datos cumplen siendo mayores al límite inferior de 30 kg/cm<sup>2</sup>.

Se puede ver también el máximo valor de resistencia a tracción de 40,35 kg/cm<sup>2</sup> y el mínimo de 32,51 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días de ensayo, el primero cumpliendo con los dos criterios, y el segundo solamente cumple uno.

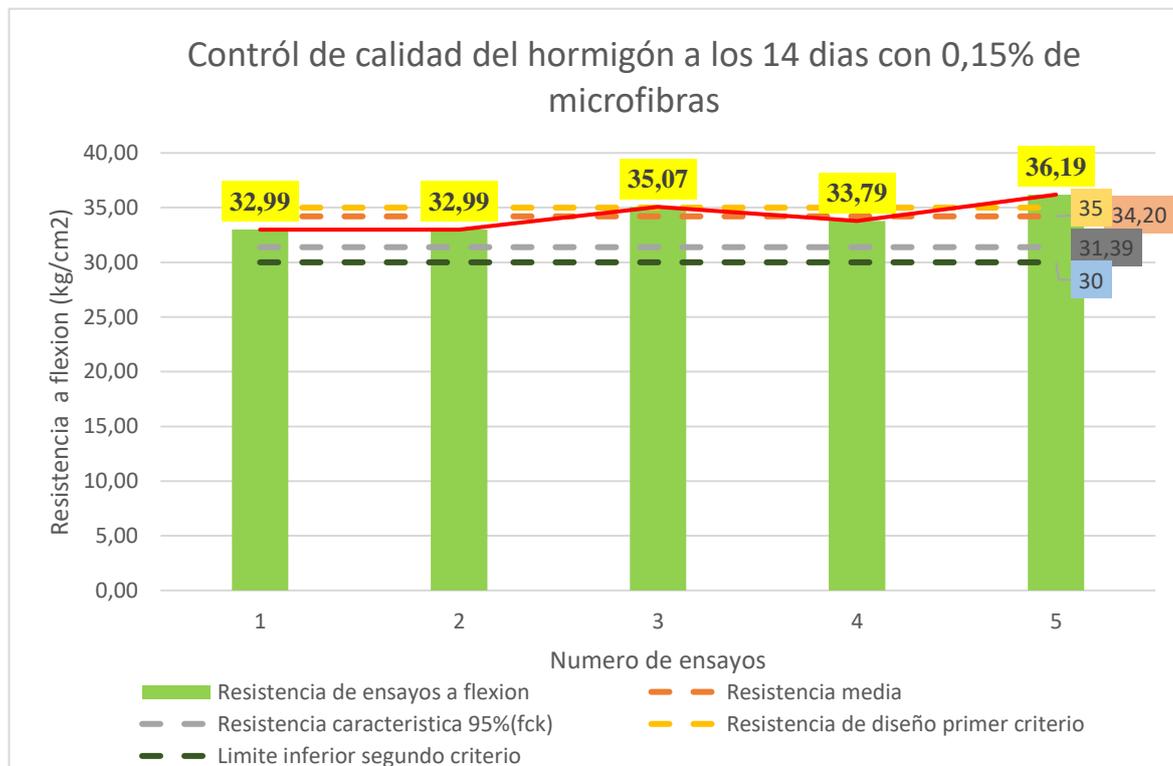
Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras es de 29,62 kg/cm<sup>2</sup> no cumpliendo con ningún criterio.

**Tabla 3.34 Resistencia a tracción a los 14 días con 0,15% de microfibra de polipropileno**

<b>Hormigón con microfibra</b>					
<b>% de microfibra</b>	<b>Edad (días)</b>	<b># de ensayos</b>	<b>Resistencia (fct)</b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
0,15%	14	1	32,99	No cumple	Cumple
	14	2	32,99	No cumple	Cumple
	14	3	35,07	Cumple	Cumple
	14	4	33,79	No cumple	Cumple
	14	5	36,19	Cumple	Cumple
Resistencia media (fcm)		X(kg/cm <sup>2</sup> )	34,20		
Cantidad		N°	5		
Varianza		S <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	1,957		
Desviación estándar		S(kg/cm <sup>2</sup> )	1,399		
Coeficiente de variación		CV %	4,089		
Grado de control		Excelente			
Grados de libertad		gl	4		
Nivel de significancia		$\alpha$	0,05		
Coeficiente t student		t	2,015		
Resistencia característica 95% (fck)		(kg/cm <sup>2</sup> )	31,39		
Resistencia de diseño (fck')		(kg/cm <sup>2</sup> )	35		
Límite inferior		(kg/cm <sup>2</sup> )	30		

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.57. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 14 días con 0,15% de microfibra de polipropileno**



*Fuente: Elaboración propia*

De la tabla 3.34. de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 14,332 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a tracción con el 0,15% de microfibra de polipropileno a los 14 días de curado dando un grado de control es excelente según la tabla 3.23. de la ACI-214R.

En la figura 3.57. se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a tracción aceptables ya que está por encima del límite.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a tracción cumplen con el promedio aritmético de tres ensayos consecutivos debe ser igual o superior a la resistencia de diseño  $f_{ck}'$  a excepción de tres esto se debe a que la edad del hormigo es muy temprana no tiene la resistencia máxima a la que puede llegar.

En el cumpliendo del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, vale decir, nuestros datos cumplen siendo mayores al límite inferior de 30 kg/cm<sup>2</sup>.

Se puede ver también el máximo valor de resistencia a tracción de 69,18 kg/cm<sup>2</sup> y el mínimo de 32,99 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días de ensayo, el primero cumpliendo con los dos criterios, y el segundo también.

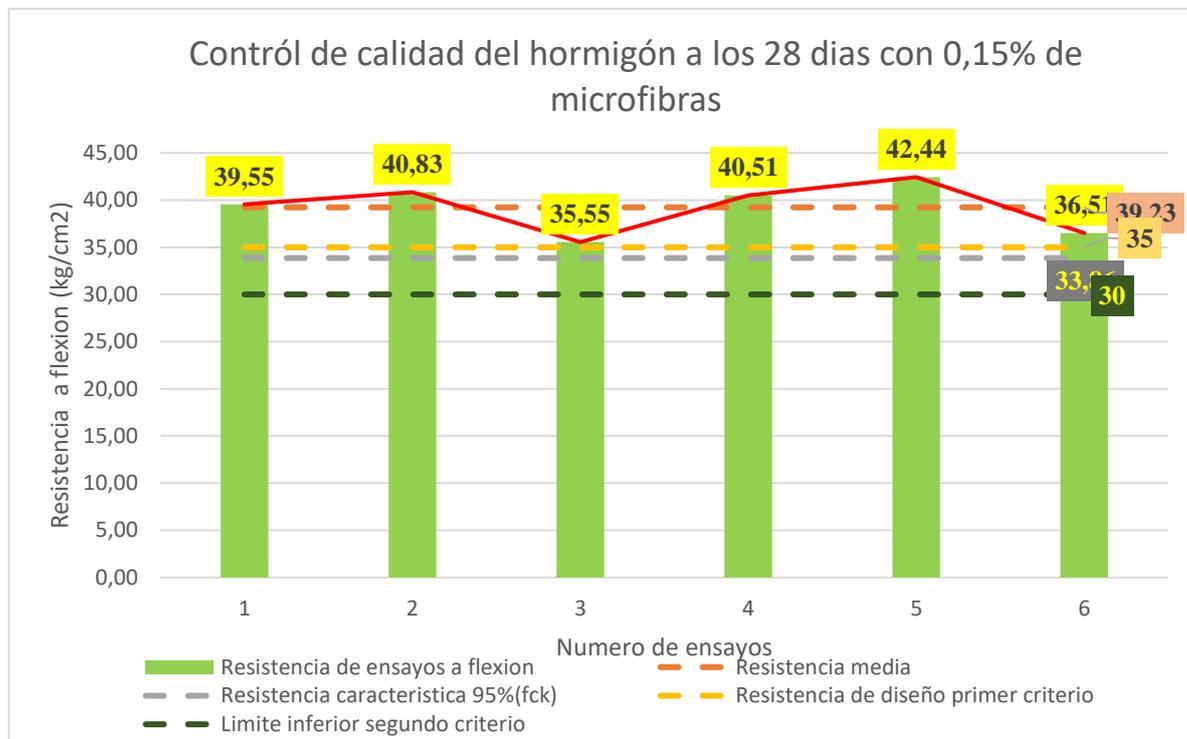
Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras es de 11,15 kg/cm<sup>2</sup> no cumpliendo con ningún criterio.

**Tabla 3.35 Resistencia a tracción a los 28 días con 0,15% de microfibra de polipropileno**

<b>Hormigón con microfibra</b>					
<b>% de microfibra</b>	<b>Edad (días)</b>	<b># de ensayos</b>	<b>Resistencia (fct)</b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
0,15%	28	1	39,55	Cumple	Cumple
	28	2	40,83	Cumple	Cumple
	28	3	35,55	Cumple	Cumple
	28	4	40,51	Cumple	Cumple
	28	5	42,44	Cumple	Cumple
	28	6	36,51	Cumple	Cumple
Resistencia media (fcm)		X(kg/cm <sup>2</sup> )	39,23		
Cantidad		N°	6		
Varianza		S <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )	7,108		
Desviación estándar		S(kg/cm <sup>2</sup> )	2,666		
Coeficiente de variación		CV %	6,796		
Grado de control		Excelente			
Grados de libertad		gl	5		
Nivel de significancia		$\alpha$	0,05		
Coeficiente t student		t	2,015		
Resistencia característica 95% (fck)		(kg/cm <sup>2</sup> )	33,86		
Resistencia de diseño (fck')		(kg/cm <sup>2</sup> )	35		
Límite inferior		(kg/cm <sup>2</sup> )	30		

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura 3.58. Análisis estadístico resistencia a tracción a los 28 días con 0,15% de microfibra de polipropileno**



*Fuente: Elaboración propia*

De la tabla 3.35. de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 2,666 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a tracción con el 0,15% de microfibra de polipropileno a los 28 días de curado dando un grado de control es excelente según la tabla 3.23. de la ACI-214R.

En la figura 3.58. se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a tracción aceptables ya que está por encima del límite.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a tracción cumplen con el promedio aritmético de tres ensayos consecutivos debe ser igual o superior a la resistencia de diseño fck'.

En el cumplimiento del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, vale decir, nuestros datos cumplen siendo mayores al límite inferior de 30 kg/cm<sup>2</sup>.

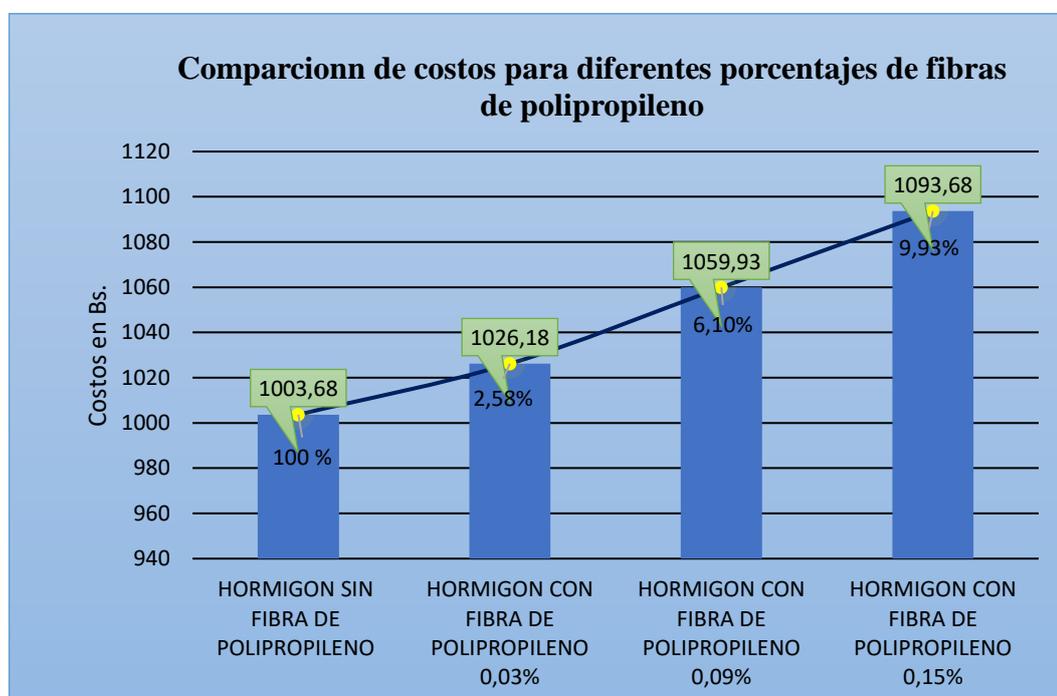
Se puede ver también el máximo valor de resistencia a tracción de 42,44 kg/cm<sup>2</sup> y el mínimo de 35,55 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de ensayo, el primero cumpliendo con los dos criterios, y el segundo no cumple ninguno.

### 3.10. Análisis de costos.

Para este análisis, se tomaron en cuenta las cantidades de los materiales encontrados en la dosificación. Como se observa en la figura N.º 3.59, todos los hormigones con fibra de polipropileno presentan un costo superior al del hormigón sin fibra (1003,68 Bs). Esto sugiere que la inclusión de fibra en el hormigón mejora propiedades como la resistencia a fisuras, la durabilidad y el control de agrietamiento, aunque genera un incremento en los costos de producción.

En cuanto a los costos de los diferentes tipos de hormigón con fibra, el hormigón con un 0,03% de fibra presenta el costo más bajo, de 1026,18 Bs, seguido por el hormigón con un 0,09% de fibra con un costo de 1059,93 Bs, y finalmente el hormigón con un 0,15% de fibra, cuyo costo es de 1093,68 Bs. A medida que aumenta el porcentaje de fibra (0,03%, 0,09% y 0,15%), el costo también aumenta, lo que podría reflejar una variabilidad en los costos de producción o en la cantidad de materiales empleados en la mezcla.

**Figura 3.59. Comparación de costos.**



*Fuente: Elaboración propia*

Aunque el hormigón con un 0,15% de fibra tiene un costo más alto (1093,68 Bs) en comparación con el hormigón sin fibra (1.003,68 Bs), el uso de fibra sigue generando un beneficio económico en términos de durabilidad y resistencia a las fisuras. Estos beneficios adicionales, como una mayor vida útil y menor mantenimiento, pueden justificar el costo más elevado del hormigón con fibra. Este análisis considera los precios de los insumos, incluyendo materiales, mano de obra y equipos, bajo las mismas condiciones para ambos casos. Los detalles completos del análisis de precios unitarios se encuentran en el Anexo 12.

# IV ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4. Interpretación de los resultados a tracción obtenidos.

En conocimiento de los resultados logrados, se procede a realizar la interpretación y evaluación de los mismos.

##### 4.1. Interpretación del ensayo de resistencia a tracción.

De acuerdo a los resultados obtenidos y mostrados en la figura 4.1. se puede apreciar que, en el ensayo de resistencia a tracción, con el hormigón convencional sin microfibras alcanza su resistencia máxima a los 28 días con 3,03 MPa, incrementando un 15,78% en comparación al hormigón convencional a los 7 días.

Las muestras de hormigón reforzadas con microfibras de polipropileno, presentan variaciones de poca consideración con respecto al hormigón patrón, por ejemplo, para el hormigón con 0.03% de fibras sintética la resistencia es ligeramente mayor 3,04 MPa en comparación al hormigón patrón con una resistencia de 3,03 MPa.

El mayor incremento de resistencia lo podemos ver en la incorporación de fibras del 0,15% con respecto al hormigón patrón a que aumentó aun 3,05 MPa.

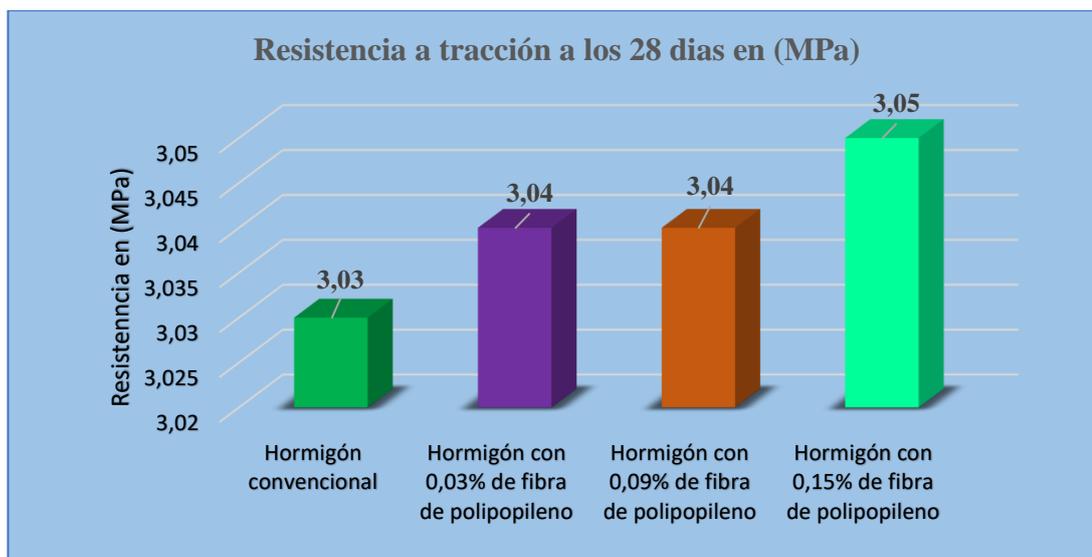
**Tabla 4.1. Resultados obtenidos de resistencia a tracción de las vigas.**

Tipo de hormigón	Resistencia a tracción (MPa)		
	7 días	14 días	28 días
Hormigón convencional	2,60	2,64	3,03
Hormigón con 0,03% de fibra de polipropileno	2,76	2,79	3,04
Hormigón con 0,09% de fibra de polipropileno	2,74	2,93	3,04
Hormigón con 0,15% de fibra de polipropileno	2,80	2,86	3,05

*Fuente: Elaboración propia*

Para los demás porcentajes de microfibras de polipropileno en el hormigón las resistencias incrementaron levemente adicionando los porcentajes establecidos (0,03%; 0,09% y 0,15%). Por lo que se afirma que la adición de microfibras de polipropileno en el hormigón en los porcentajes establecidos no altera la resistencia a tracción del mismo, pudiendo atribuirse las pequeñas variaciones en los resultados a los diferentes procedimientos que se realizan en el laboratorio al elaborar las vigas y no así al efecto de la adición de las microfibras de polipropileno.

**Figura 4.1. Comparación de resistencias a tracción de vigas a los 28 días.**



*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.2. Interpretación del ensayo de retracción plástica.**

En la realización de este ensayo lo primero que se observa es como las muestras empiezan a fisurarse, en la tabla 4.2. se aprecia la manera en que inciden las microfibras en el tiempo de inicio de fisuración, la muestra patrón se fisura a 1 hora 24 minutos después de la elaboración del hormigón y todas las demás muestras reforzadas con microfibras retrasaron su inicio de fisuración, esto es un claro indicio de como la adición de microfibras en el hormigón ayuda a controlar las fisuras por retracción plástica, ya que las fibras están impidiendo que el hormigón se fisure retrasando su inicio de fisuración, este retraso de fisuración lo podemos notar hasta más de 4 horas con respecto a la muestra patrón, lo cual nos indica que a mayor porcentaje de microfibra menor es el riesgo de fisuración por lo que es una opción como refuerzo para evitar las fisuras por retracción plástica.

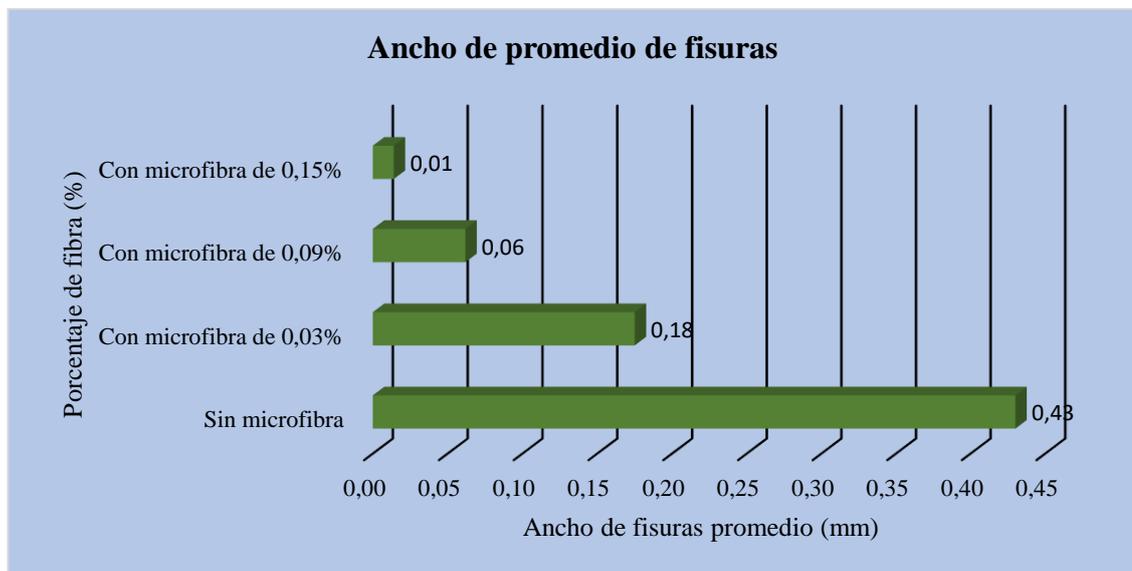
**Tabla 4.2. Tiempo de inicio de fisuración.**

Tipo de hormigón	Primera fisura
Hormigón convencional	1h 24min
Hormigón con 0,03% de fibra de polipropileno	2h 20min
Hormigón con 0,09% de fibra de polipropileno	3h 18min
Hormigón con 0,15% de fibra de polipropileno	5h 17min

*Fuente: Elaboración propia*

Los anchos de fisura promedio se midieron una vez las 24 horas, se observa claramente que las muestras reforzadas con microfibras de polipropileno son muy efectivas ya que presentaron un ancho de fisura menor respecto a las muestras patrón. Como puede apreciarse en las figuras 4.1. hay una relación directa entre la cantidad de microfibra adicionada al hormigón y la reducción del ancho de fisura, el patrón que sigue es que a mayor cantidad de microfibras es menor el ancho de fisura.

**Figura 4.2. Comparación de anchos de fisuras.**



Podemos observar en la figura 3.45. una reducción de fisuración de hasta un 96,32% con respecto a la muestra patrón con la inclusión de 0,15% de microfibra de polipropileno.

# V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. Conclusiones

Una vez finalizado todos los ensayos de rotura a flexión, se concluye que, con la aplicación de microfibras de polipropileno, el hormigón incremento ligeramente su resistencia a tracción comparando con un hormigón convencional. Obteniéndose los siguientes resultados a los 28 días de edad del hormigón:

**3,03 MPa** (Hormigón patrón)

**3,04 MPa** (microfibra de polipropileno al 0,03%)

**3,04 MPa** (microfibra de polipropileno al 0,09%)

**3,05 MPa** (microfibra de polipropileno al 0,15%)

Esto debido a que el uso de fibras de polipropileno en el hormigón no se orienta a aumentar la resistencia a tracción de manera significativa, sino a mejorar su desempeño en términos de control de fisuras, durabilidad y resistencia al impacto, haciendo que el hormigón sea más resistente en condiciones de uso donde las cargas no sean excesivas.

Los materiales utilizados para el estudio fueron adecuados y cumplen con los requerimientos de las normas aplicables. Descartando aquellos bancos que no cumple con las especificaciones de las normativas como granulometría y módulo de finura para el agregado fino, granulometría y porcentaje de desgaste para el agregado grueso.

Debido a los controles realizados en la elaboración, se logró obtener mezclas homogéneas, lo cual es muy importante en este tipo de hormigones, ya que de no ser así la mezcla puede presentar segregación de materiales, ocasionando una mala resistencia.

Las microfibras de polipropileno reducen la trabajabilidad del hormigón debido a su capacidad de mantener unida la mezcla, el hormigón patrón no presentó dificultades, los valores fueron similares al adoptado en la dosificación del hormigón (7.6 centímetros), para las muestras reforzadas con microfibras los valores de asentamiento disminuyen a medida que se

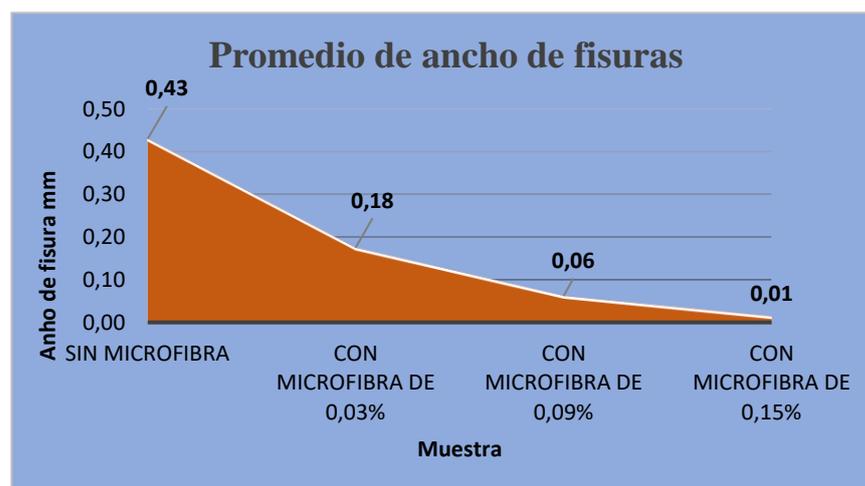
aumenta la cantidad de microfibras en el hormigón. El valor mínimo de asentamiento experimentado fue 6,8 centímetros con el porcentaje de 0.15% de microfibras.

%	Muestra	Asentamiento (cm)
0,00	Patrón	7,6
0,03	Microfibras	7,3
0,09	Microfibras	7,3
0,15	Microfibras	6,8

- El aumento de la resistencia a tracción de vigas con microfibras de polipropileno no es significativo en comparación a la resistencia a tracción de las vigas patrón sin microfibras, por lo tanto, las microfibras sintéticas de polipropileno no son estructurales.
- El análisis de costos del uso de microfibras de polipropileno en el hormigón revela que la incorporación de estas fibras genera un aumento en los costos del material, pero a su vez ofrece beneficios en términos de durabilidad y resistencia estructural. El hormigón convencional sin fibra presenta un costo de 1.003,68 Bs. Al incorporar fibra en una dosificación del 0,15%, el costo aumenta a 1093,68 Bs. Con un 0,09% de fibra, el costo es de 1059,93 Bs, y con una dosificación de 0,03%, el costo baja a 1.026,18 Bs. Esto demuestra que, aunque el costo total aumenta con mayores porcentajes de fibra, la opción con menor cantidad de fibra (0,03%) es la más económica en comparación con las opciones de mayor contenido de fibra.

Tipo de hormigón	Costos en (Bs)	Incremento del costo (%)
Hormigón sin fibra de polipropileno	<b>1.003,68</b>	----
Hormigón con fibra de polipropileno 0,03%	<b>1.026,18</b>	2,58
Hormigón con fibra de polipropileno 0,09%	<b>1.059,93</b>	6,10
Hormigón con fibra de polipropileno 0,15%	<b>1.093,68</b>	9,93

- El método estándar para evaluar la fisurabilidad en estado plástico que propone la ASTM C1579 demostró ser adecuado para evaluar el comportamiento de las distintas variables de composición, elaboración y otras del hormigón en la fisurabilidad, teniendo como referencia un hormigón patrón.
- Los resultados obtenidos del ensayo del método estándar para la evaluación del agrietamiento por retracción plástica, confirmando la hipótesis planteada, muestran una influencia favorable en la reducción del ancho de las fisuras. Este se redujo de 0,43 mm a 0,18 mm, 0,06 mm y 0,01 mm al aplicar 0,03%, 0,09% y 0,15% de microfibras, respectivamente. Se concluye que el promedio de los anchos de fisura disminuye directamente con el incremento de la dosificación de microfibras de polipropileno.



- En cuanto al análisis comparativo de la relación de reducción de fisuras (CRR) entre el hormigón convencional y el hormigón con microfibras de polipropileno, se observó una disminución significativa del ancho medio de las fisuras en los ensayos. Específicamente, se registraron reducciones del 53.38%, 84.25% y 96.32% al aplicar un 0.03%, 0.09% y 0.15% de microfibras, respectivamente. Estos resultados demuestran que el estudio alcanzó los objetivos establecidos en la investigación, evidenciando la efectividad de las microfibras en la mejora del comportamiento frente a la fisuración.

- ✚ Al concluir esta investigación, se determina que la opción más eficiente desde el punto de vista técnico y económico para mitigar las fisuras por retracción plástica es el hormigón reforzado con microfibras de polipropileno, especialmente al aplicar el mayor porcentaje estudiado, 0.15%. Con este porcentaje, se logró una reducción superior al 96% en el ancho de las fisuras, lo que demuestra su efectividad en el control de la fisuración.
- ✚ El refuerzo del hormigón con fibras tiene un amplio campo de aplicación entre los cuales se encuentran: losas alivianadas, pisos industriales, pavimentos de hormigón, tableros de puentes, hormigones lanzados, tanques de almacenamiento, piscinas, canales, alcantarillas, represas y elementos prefabricados.
- ✚ Una de las aplicaciones destacadas de la fibra de polipropileno es su incorporación en cubiertas de azotea inclinadas de hormigón armado, donde desempeña un papel crucial en la reducción de fisuras estructurales. Esta fibra actúa como refuerzo interno, optimizando la distribución de tensiones dentro del hormigón y reduciendo el riesgo de fisuración inducida por la retracción durante el proceso de curado y por las variaciones térmicas. Al mitigar la formación de fisuras, se mejora la durabilidad de la estructura, previniendo el ingreso de agua y agentes contaminantes que podrían comprometer la integridad del sistema. En consecuencia, el uso de fibra de polipropileno constituye una solución efectiva para mejorar la resistencia a la fisuración, garantizando la estabilidad y longevidad de la azotea.
- ✚ El hormigón reforzado con fibras permite obtener superficies acabadas de apariencia similar al hormigón convencional, dificultando la percepción de la presencia de fibras en su interior.

## 5.2. Recomendaciones

- ✚ En el momento del hormigonado se debe verter la mezcla, de manera distribuida y realizar un correcto vibrado y apisonado para evitar la formación de vacíos.
- ✚ La elaboración de hormigón reforzado con fibras no requiere mano de obra especializada, dado que las fibras se incorporan al hormigón mediante un proceso sencillo de dispersión en la hormigonera. Es importante tener en cuenta que, para asegurar una distribución adecuada de las fibras, se debe mezclar el hormigón durante al menos 5 minutos después de agregar las microfibras, garantizando así una distribución uniforme que optimice las propiedades del material.
- ✚ Es crucial adoptar el procedimiento adecuado para el pesaje de los componentes de las mezclas, a fin de minimizar las variaciones en los resultados y reducir los errores accidentales durante los ensayos en laboratorio.
- ✚ Es fundamental asegurar que los materiales y equipos utilizados en la elaboración de la mezcla estén completamente limpios, ya que los residuos de mezclas anteriores, que pueden tener características diferentes, podrían alterar los resultados obtenidos.
- ✚ Evitar que el material permanezca mucho tiempo almacenado ya que los factores climatológicos puedan alterar sus condiciones originales.
- ✚ Se recomienda que el tiempo de mezclado de la fibra de polipropileno en el hormigón no exceda los 5 minutos, ya que un tiempo de mezclado prolongado puede introducir aire en la mezcla, lo que reduce la adherencia entre la matriz cementante y la fibra.
- ✚ Esta tesis establece la base necesaria para futuras investigaciones sobre el tema. En consecuencia, se recomienda continuar con estudios adicionales sobre el hormigón reforzado con microfibras de polipropileno, con el fin de profundizar en sus propiedades y aplicaciones.