



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERIA

---

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

“INFLUENCIA DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN LAS PROPIEDADES DE UN MORTERO DE REPARACIÓN EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero civil**

**Autor:**

Angie Lisette Trujillo Rojas

**Asesor:**

Ing. Alberto Vásquez Díaz

Trujillo – Perú

2018

## APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el (la) Bachiller **Angie Lisette Trujillo Rojas**, denominada:

**“INFLUENCIA DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO EN LAS PROPIEDADES DE UN MORTERO DE REPARACIÓN EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO”**

---

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz  
**ASESOR**

---

Mg. Ing. Wiston Azañedo Medina  
**JURADO**  
**PRESIDENTE**

---

Mg. Ing. Ricardo Avalos  
**JURADO**

---

Mg. Ing. Germán Sagástegui  
**JURADO**

## DEDICATORIA

*A Dios, por guiarme en este camino llamado Vida. Por darme la salud y fortaleza necesaria para alcanzar mis metas. Por regalarme lo más valioso que tengo en este mundo... mi familia. La Gloria sea a ÉL.*

*A mis padres, **Ronald y Gloria**, por ser mi apoyo incondicional en todo momento. Porque son mi motor y motivo. Porque todos mis logros son por ellos y para ellos. No me alcanzaré la vida para darles las gracias... Los amo.*

*A mi hermana, **Claudia**, por ser fuente de inspiración para mí. Por motivarme a ser mejor cada día y por enseñarme, con su ejemplo, que la vida requiere sacrificios, y sin ellos, no hay recompensas...*

## AGRADECIMIENTO

A mi alma máter, Universidad Privada del Norte, por acogerme durante toda la etapa de mi formación académica.

A mi asesor, Ing. Alberto Vásquez Díaz, por su apoyo y orientación constante durante todo el desarrollo del presente proyecto de investigación.

A mi director de carrera, Ing. Wiston Azañedo Medina y al Ing, Wesley Leonardo Carrasco, por las facilidades brindadas para el uso del laboratorio de la Universidad.

A Luis Alberto Hoyle Sánchez Ferrer, por las largas horas de trabajo arduo en el laboratorio, donde su apoyo y compañía fue muy valiosa para mí.

Gracias infinitas.

## INDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN DE LA TESIS .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	4
RESUMEN.....	11
ABSTRACT .....	12
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
1.1. Realidad problemática .....	13
1.2. Formulación del problema.....	15
1.3. Justificación .....	16
1.4. Limitaciones.....	17
1.5. Objetivos.....	18
1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....	18
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	18
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
2.1. Antecedentes.....	19
2.2. Bases teoricas .....	23
2.2.1. <i>El mortero</i> .....	23
2.2.2. <i>Componentes del mortero</i> .....	23
2.2.3. <i>Propiedades del mortero</i> .....	30
2.2.4. <i>Diseño de mezcla</i> .....	33
2.2.5. <i>Mortero reforzado con fibras</i> .....	34
2.2.6. <i>Fibra de polipropileno</i> .....	36
2.2.7. <i>Fisuración por contracción plástica</i> .....	37
2.3. Hipótesis.....	42
2.3.1. <i>Formulación de la hipótesis</i> .....	42
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGIA .....</b>	<b>43</b>
3.1. Operacionalización de variables .....	43
3.2. Tipo de diseño de investigación .....	44
3.3. Material.....	44
3.3. Población .....	44
3.4. Muestra.....	45
3.5. Técnicas de recolección y análisis de datos.....	46
3.5.1. <i>Procedimiento</i> .....	47
3.5.2. <i>Selección de los materiales</i> .....	47

3.5.3.	<i>Caracterización de los materiales</i> .....	48
3.5.4.	<i>Diseño de mezcla de mortero</i> .....	54
3.5.5.	<i>Ensayos del mortero en estado fresco</i> .....	59
3.5.6.	<i>Ensayos del mortero en estado endurecido</i> .....	62
3.5.7.	<i>Análisis estadístico de resultados</i> .....	66
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS</b> .....		<b>68</b>
4.1.	Caracterización de la arena gruesa .....	68
4.2.	Diseño de mezcla: .....	70
4.3.	Resultados del mortero en estado fresco.....	70
4.3.1.	<i>Asentamiento</i> .....	70
4.3.2.	<i>Temperatura</i> .....	72
4.3.3.	<i>Contracción plástica</i> .....	72
4.4.	Resultados del mortero en estado endurecido .....	76
4.4.1.	<i>Resistencia a la compresión</i> .....	76
4.4.2.	<i>Resistencia a la flexión</i> .....	78
4.5.	Validación de la hipótesis mediante análisis estadístico.....	82
4.6.	Evaluación económica .....	91
4.6.1.	<i>Mortero patrón (sin dosis de fibra) vs morteros adicionados con diferentes cuantías de fibra de polipropileno</i> .....	91
<b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN</b> .....		<b>97</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....		<b>103</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		<b>105</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....		<b>107</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>111</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1:</b> Componentes principales del cemento .....	23
<b>Tabla N° 2:</b> Límites especificados del agregado fino .....	26
<b>Tabla N° 3:</b> Límites permisibles para agua de mezcla y curado .....	29
<b>Tabla N° 4:</b> Velocidad del viento .....	38
<b>Tabla N°5:</b> Guía para anchos razones de fisuras, concreto armado bajo cargas de servicios.....	40
<b>Tabla N° 6:</b> Hipótesis.....	42
<b>Tabla N° 7:</b> Operacionalización de las variables de investigación .....	43
<b>Tabla N° 8:</b> Distribución de la muestra a ensayar.....	46
<b>Tabla N° 9:</b> Ensayos realizados al agregado fino .....	48
<b>Tabla N°10:</b> FORMATO. Materiales más finos que pasan tamiz N°200.....	49
<b>Tabla N°11:</b> FORMATO. Análisis granulométrico de agregado fino.....	50
<b>Tabla N°12:</b> FORMATO. Contenido de humedad.....	51
<b>Tabla N°13:</b> FORMATO. Peso unitario suelto y compactado.....	52
<b>Tabla N°14:</b> FORMATO. Peso específico y absorción.....	54
<b>Tabla N°15:</b> Nomenclatura de cada diseño .....	55
<b>Tabla N°16:</b> Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.....	55
<b>Tabla N° 17:</b> Tipos de mortero .....	56
<b>Tabla N° 18:</b> Datos de los componentes .....	57
<b>Tabla N° 19:</b> Volúmenes de los componentes .....	58
<b>Tabla N° 20:</b> Diseño de mezcla .....	58
<b>Tabla N° 21:</b> FORMATO. Asentamiento.....	60
<b>Tabla N° 22:</b> FORMATO. Temperatura .....	60
<b>Tabla N° 23:</b> FORMATO. Resistencia a la compresión.....	64
<b>Tabla N° 24:</b> FORMATO. Varianza, desviación estándar y coeficiente de variación para resistencia a la compresión.....	64
<b>Tabla N° 25:</b> FORMATO. Resistencia a la flexión .....	65
<b>Tabla N° 26:</b> FORMATO. Varianza, desviación estándar y coeficiente de variación de resistencia a la flexión.....	65
<b>Tabla N° 27:</b> Valores de dispersión total para el control del concreto.....	67
<b>Tabla N° 28:</b> Valores de dispersión entre testigos para el control del concreto.....	67
<b>Tabla N° 29:</b> Propiedades de la arena gruesa .....	68
<b>Tabla N° 30:</b> Gradación del agregado fino.....	69
<b>Tabla N° 31:</b> Cantidad de materiales por elaboración de probeta (kg).....	70
<b>Tabla N° 32:</b> Asentamientos obtenidos .....	70
<b>Tabla N° 33:</b> Temperaturas obtenidas.....	72
<b>Tabla N° 34:</b> Contracción plástica .....	73
<b>Tabla N° 35:</b> Resistencia a la compresión .....	76
<b>Tabla N° 36:</b> Resistencia en función del tiempo .....	77
<b>Tabla N° 37:</b> Datos estadísticos de compresión de mortero .....	78
<b>Tabla N° 38:</b> Resistencia a la flexión .....	78
<b>Tabla N° 39:</b> Variación porcentual de resistencia a la flexión .....	80
<b>Tabla N° 40:</b> Datos estadísticos de la flexión de mortero.....	81
<b>Tabla N° 41:</b> Prueba de normalidad .....	82
<b>Tabla N° 42:</b> Prueba de homogeneidad de varianza de la variable Resistencia a la compresión.....	84

<b>Tabla N° 43:</b> Prueba de ANOVA para la variable resistencia a la compresión.....	85
<b>Tabla N° 44:</b> Comparación múltiple para la variable resistencia a la compresión .....	86
<b>Tabla N° 45:</b> Prueba de normalidad .....	87
<b>Tabla N° 46:</b> Prueba de homogeneidad de varianza de la variable Resistencia a la flexión .....	89
<b>Tabla N° 47:</b> Prueba de ANOVA para la variable resistencia a la flexión.....	89
<b>Tabla N° 48:</b> Comparación múltiple para la variable resistencia a la flexión .....	90
<b>Tabla N° 49:</b> Precio de los materiales .....	91
<b>Tabla N° 50:</b> Costo por cantidad de materiales para elaborar 1 $m^3$ de mortero patrón (sin dosis de fibra) .....	91
<b>Tabla N° 51:</b> Longitud de fisuras presentadas en el mortero patrón .....	92
<b>Tabla N° 52:</b> Análisis de precio unitario. Inyección de resina epóxica en fisuras para reparación estructural .....	93
<b>Tabla N° 53:</b> Costo por cantidad de materiales para elaborar 1 $m^3$ de mortero con 300 ( $gr/m^3$ ) de fibra de polipropileno .....	94
<b>Tabla N° 54:</b> Costo por cantidad de materiales para elaborar 1 $m^3$ de mortero con 600 ( $gr/m^3$ ) de fibra de polipropileno .....	95
<b>Tabla N°55:</b> Costo por cantidad de materiales para elaborar 1 $m^3$ de mortero con 900 ( $gr/m^3$ ) de fibra de polipropileno .....	96

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1:</b> Principales mecanismos de fallas de estructuras en el concreto.....	13
<b>Figura N° 2:</b> Condiciones de humedad de los agregados .....	28
<b>Figura N° 3:</b> Típica fisuración por contracción plástica.....	32
<b>Figura N° 4:</b> Fibra multifilamento (izquierda) y fibra monofilamento (derecha) .....	36
<b>Figura N° 5:</b> Formación de una fisura por contracción plástica .....	38
<b>Figura N° 6:</b> Representación esquemática del procedimiento de investigación.....	47
<b>Figura N°7:</b> Vista en planta y elevación del panel rectangular.....	61
<b>Figura N° 8:</b> Dimensiones de la elevación del panel rectangular.....	61
<b>Figura N° 9:</b> Curva granulométrica promedio de la arena gruesa.....	69
<b>Figura N° 10:</b> Asentamiento vs dosis de fibra.....	71
<b>Figura N° 11:</b> Variación porcentual del asentamiento.....	71
<b>Figura N° 12:</b> Temperatura del mortero vs Dosis de fibra .....	72
<b>Figura N° 13:</b> Ancho de fisura vs dosis de fibra.....	73
<b>Figura N° 14:</b> Reducción porcentual de ancho de fisura .....	74
<b>Figura N° 15:</b> Longitud de fisura vs Dosis de fibra .....	74
<b>Figura N° 16:</b> Reducción porcentual de longitud de fisura.....	75
<b>Figura N° 17:</b> Duración de la fisuración.....	75
<b>Figura N° 18:</b> Resistencia a la compresión vs dosis de fibra .....	76
<b>Figura N° 19:</b> Resistencia a la compresión en el tiempo .....	77
<b>Figura N° 20:</b> Resistencia a la flexión vs dosis de fibra .....	79
<b>Figura N° 21:</b> Resistencia a la flexión vs dosis de fibra .....	79
<b>Figura N° 22:</b> Variación porcentual de la resistencia a la flexión .....	80
<b>Figura N° 23:</b> Gráfico Q-Q normal de resistencia a la compresión con 300 <i>gr/m<sup>3</sup></i> .....	83
<b>Figura N° 24:</b> Gráfico Q-Q normal de resistencia a la compresión con 600 <i>gr/m<sup>3</sup></i> .....	83
<b>Figura N° 25:</b> Gráfico Q-Q normal de resistencia a la flexión con 900 <i>gr/m<sup>3</sup></i> .....	84
<b>Figura N° 26:</b> Gráfico Q-Q normal de resistencia a la flexión con 300 <i>gr/m<sup>3</sup></i> .....	87
<b>Figura N° 27:</b> Gráfico Q-Q normal de resistencia a la flexión con 600 <i>gr/m<sup>3</sup></i> .....	88
<b>Figura N° 28:</b> Gráfico Q-Q normal de resistencia a la flexión con 900 <i>gr/m<sup>3</sup></i> .....	88
<b>Figura N° 29:</b> Materiales más finos que pasan por el tamiz N°200 por lavado. ....	137
<b>Figura N° 30:</b> Análisis granulométrico del agregado fino.....	137
<b>Figura N° 31:</b> Contenido de humedad del agregado fino.....	138
<b>Figura N° 32:</b> Peso unitario, suelto y compactado del agregado fino .....	138
<b>Figura N° 33:</b> Peso específico y absorción por método de la fiola.....	139
<b>Figura N° 34:</b> Fibra de polipropileno, Sika-Cem1 Fiber .....	139
<b>Figura N° 35:</b> Aditivo SikaCem-1 plastificante en polvo.....	139
<b>Figura N° 36:</b> Fisurómetro Sika. Medidor de ancho de fisuras. ....	140
<b>Figura N° 37:</b> Cemento Pacasmayo Tipo Ms. ....	140
<b>Figura N° 38:</b> Moldes cúbicos de 50x50x50 mm para resistencia a la compresión .....	141
<b>Figura N° 39:</b> Probetas rectangulares de 40mmx40x160mm para resistencia a la flexión. .....	141
<b>Figura N° 40:</b> Paneles rectangulares de 56cmx36cmx11 cm para contracción plástica	142
<b>Figura N° 41:</b> Ensayo de asentamiento del mortero mediante el cono de Abrahams. ...	142
<b>Figura N° 42:</b> Conformación de paneles de mortero para ensayo de contracción plástica .....	143
<b>Figura N° 43:</b> Medición de la temperatura del mortero.....	143
<b>Figura N° 44:</b> Cámara de ambiente controlado para el ensayo de contracción plástica	144
<b>Figura N° 45:</b> Conformación de probetas cúbicas y viguetas. ....	144

<b>Figura N° 46:</b> Desmoldado de probetas cúbicas de 50x50x50 mm .....	145
<b>Figura N° 47:</b> Ensayo de resistencia a compresión de los morteros a los 7 y 28 días ...	145
<b>Figura N° 48:</b> Ensayo de resistencia a la flexión .....	146

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar la influencia de la incorporación de la fibra de polipropileno en un mortero para ser utilizado con fines de reparación estructural de superficies horizontales, tales como pisos o lozas aligeradas.

En la investigación se realizaron ensayos comparativos entre un mortero patrón, sin adición de fibras y morteros con distintas dosis de fibra adicionada. La fibra adicionada que se empleó fue la Sika-Cem Fiber 1 en las dosis de 300 g., 400 g. y 900 g. de fibra por metro cúbico de mortero. Obteniéndose un total de cuatro diseños de mezcla, para una resistencia a la compresión de  $210 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días.

Los ensayos realizados al mortero en estado fresco fueron el asentamiento y la temperatura, dando mayor énfasis a la evaluación de fisuras por contracción plástica, la cual se desarrolló tomando como referencia los lineamientos expuestos en la norma ASTM C1579-13 "Standar test method for evaluating plastic shrinkage cracking of restrained fiber reinforced concrete (Using a steel form insert)". En estado endurecido al mortero se le realizó los ensayos de compresión y flexión de acuerdo a las normas, ASTM C109 y ASTM C293, respectivamente.

Del análisis de los resultados de la presente investigación se pudo observar que a mayor cantidad de fibra adicionada en el mortero fresco, fue menor la fisuración y retrasó brevemente la aparición de la primera fisura, con respecto al mortero patrón. En el mortero endurecido, se determinó que la adición de fibras de polipropileno no se modificó en forma significativa por la inclusión de fibras.

Finalmente, se concluyó que con el uso de la fibra de  $300 \text{ gr/m}^3$  se obtuvo mejores resultados en el mortero en estado fresco, debido a su buen comportamiento frente a la fisuración, y el mortero en estado endurecido, por el ligero incremento en su resistencia a la flexión. Teniendo además una óptima relación costo-beneficio.

## ABSTRACT

The objective of this work is to study the influence of the incorporation of polypropylene fiber in mortar to be used for structural repair purposes such as lightened slabs.

Comparative trials were conducted in the research between a mortar pattern, without the addition of fibres and mortars with different doses of added fiber. Added fiber that was used was the Sika-Cem Fiber 1 in doses of 300, 400 and 900 g. of fiber per cubic meter of mortar. Resulting in a total of four mix designs, for resistance to compression of 210  $kg/cm^2$  to 28 days.

Trials to mortar in fresh were the settlement and temperature, giving greater emphasis to the evaluation of cracks by plastic shrinkage, which was developed under controlled environmental conditions, based on the guidelines exposed in the standard ASTM C1579-13 "Standard test method for evaluating plastic shrinkage cracking of restrained fiber reinforced concrete (Using a steel form insert)". In hardened mortar State was carried out trials of compression and flexion in accordance ASTM C109 and ASTM C293, respectively.

The analysis of the results of this research that a greater amount of added fiber mortar settlement is less, less is cracking and briefly delays the onset of the first crack, with respect to the mortar pattern could be observed. Hardened mortar, it was determined that the addition of polypropylene fibers increases slightly (not significant) resistance to compression, however not overcame the resistance of mortar pattern. With respect to the resistance to bending, this was indirectly proportional behavior to the addition of fibres. Greater addition of fibers, the resistance decreases and vice versa.

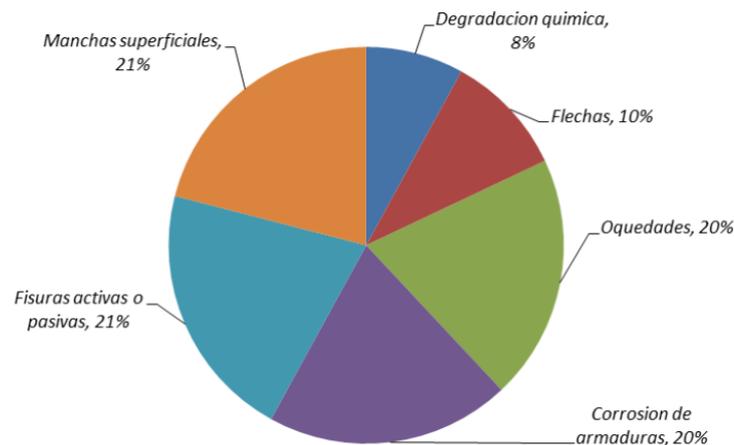
Finally, it was concluded that with the use of 300  $gr/m^3$  fiber, better results are obtained both in the fresh mortar, due to its good behavior against cracking, and in the hardened state, with a slight increase in its resistance to bending. Having an optimal cost-benefit ratio.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Cada día son más frecuentes en las edificaciones, las situaciones en las que resulta necesario la reparación de una estructura de concreto. El concreto suele deteriorarse por numerosas causas tanto químicas como físicas, siendo las más comunes de ellas, la contracción. El principal efecto visual debido a la contracción es la aparición de fisuras, que pueden aparecer muy pronto, después de haber vertido el concreto, o después de varios días, semanas o meses debido al comportamiento a largo plazo de la contracción. (Martínez, 2010).

Figura N° 1: Principales mecanismos de fallas de estructuras en el concreto



Fuente: P. Helene & F. Pereira. "Reparación y mantenimiento de estructuras del concreto". 2007.

Las fisuras producidas por contracción pueden no solo afectar la apariencia de una estructura, sino también indicar fallas estructurales significativas o falta de durabilidad (ACI 224.1R-93). Estas fisuras permiten el ingreso de sustancias nocivas del medio ambiente hacia el interior. Es por ello, que resulta importante reparar estas fisuras, debido a que representan "heridas abiertas" por donde entran "enfermedades" (Sika, 2014) tales como la humedad, oxígeno o cloruros en solución.

En la ciudad de Lima, Perú, la corrosión de armaduras en las construcciones, se debe principalmente a la humedad en el ambiente. En días de invierno el nivel de

humedad llega a noventa o cien por ciento y los edificios van presentando diversas filtraciones. Estas filtraciones producen la corrosión de los aceros de refuerzo trayendo como consecuencia el deterioro en toda la estructura. (Sika, 2010).

Para estos problemas que comprometen la durabilidad y estabilidad de las estructuras, es fundamental el uso de un mortero de reparación que incorpore en sus formulaciones fibras de refuerzo sintéticas con el fin de mejorar sus propiedades y asegurar su buen comportamiento estructural.

La inclusión de fibras como refuerzo en el concreto es una práctica que se remonta a la antigüedad, habiéndose utilizado en la mayoría de los casos fibras de origen vegetal, la cuales actualmente han sido sustituidas por las de origen sintético. Sin embargo, la función que desempeñan las fibras sigue siendo la misma y su inclusión en el seno de un mortero proporciona un aumento a la resistencias mecánicas a flexión y tracción y la de disminución de la fisuración por retracción debido a la evaporación de agua (*Alejandre, 2002, p. 98*).

Existen algunos estudios que respaldan las ventajas del uso de las fibras en el comportamiento mecánico de un concreto y/o mortero:

Se destaca el estudio realizado por *Flores (2014)*, quien propuso el uso de fibras de PET reciclado en un compuesto base cemento. Flores demostró que utilizar el polietileno como refuerzo en un mortero sometido a tensión directa presentaba una mejora en su comportamiento después de la falla ya que la adherencia matriz-PET generaba un esfuerzo residual que iba en aumento con la inclusión de mayores porcentajes de fibra. Asimismo, evidenció que los especímenes de mortero después de fallar no presentaban una separación total de los especímenes, por lo cual podría ser recomendado para mitigar fisuras.

Por otro lado, el estudio de *Gonzáles (2014)*, puso de manifiesto que el mortero adicionado con polímeros mejoraba su consistencia y por lo tanto, su docilidad para la puesta en obra, alargando además los plazos de empleo al mantenerse estable en el tiempo. En cuanto a sus propiedades mecánicas, demostró que la incorporación de polímeros en morteros de reparación incrementaba notablemente la resistencia a la flexo tracción, siendo un 29% superior a la de un mortero sin polímeros.

Finalmente, el estudio de Mendoza, Aire y Dávila (2011), demostró que la presencia de fibras de polipropileno, en el concreto fresco modificaba la consistencia de la mezcla y reducía el agrietamiento por contracción plástica, mientras que en estado endurecido, incrementaba la tenacidad y la resistencia al impacto y reducía la contracción por secado y agrietamiento.

Por lo tanto, de las diferentes investigaciones realizadas, se pudo concluir que la adición de fibras sintéticas como material de refuerzo en un mortero, podría mejorar su comportamiento en algunos aspectos. Sin embargo, es importante destacar, que es necesario tener un adecuado conocimiento y/o manejo de la fibra para garantizar la influencia de la misma en la matriz cementante, pues muchas veces los constructores utilizan estas fibras sin considerar sus propiedades conllevando a la posibilidad de fallas. (Millán, 2013)

Por todo lo expuesto, se considera de vital importancia realizar una investigación que aporte información relacionada con el uso de fibras sintéticas, en este caso, la fibra de polipropileno, como refuerzo en un mortero de cemento, teniendo en cuenta la escasa información que existe en nuestro país acerca de este material sintético.

Por ello, el presente trabajo, tendrá como objetivo determinar la cantidad óptima de fibra de polipropileno que debe adicionarse en un mortero para ser aplicado en la reparación de estructuras, de manera que esté presente mejoras positivas tanto en sus propiedades físicas como mecánicas.

De no llevarse a cabo la investigación propuesta no se contribuiría con el desarrollo de nuevas tecnologías del mortero debido a que se desconocería su comportamiento adicionado con fibra de polipropileno, un material que presenta una gama de propiedades y que supone además, una alternativa viable y económica.

## **1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera influye la fibra de polipropileno sobre las propiedades de un mortero de reparación en estado fresco y endurecido?

### 1.3. Justificación

En las últimas décadas, la reparación de estructuras de concreto, es una de las actividades que mayor incremento está teniendo debido a la cada vez más creciente industria de la construcción. Las construcciones suelen deteriorarse por múltiples factores, ya sea por fallas en el diseño, calidad de la mezcla o las condiciones del entorno a los que esté expuestos, es por ello que resulta importante, además de implementar nuevas técnicas de reparación de estructuras, incorporar materiales tecnológicos que brinden soluciones para su reparación (Sika, 2014).

Hace varias décadas, el concreto reforzado con fibras sintéticas ha sido objeto de estudio de numerosos investigadores produciendo un gran avance en la industria de la construcción. Como se sabe, el concreto ofrece una resistencia muy grande a los esfuerzos de compresión y muy escasa a los de tracción (10% de su resistencia a la compresión) (Sánchez de Guzmán, 2001), es por eso que se comenzó a reforzarlo. Además las fibras sintéticas, vienen siendo utilizadas para mitigar el fenómeno de contracción, uno de los principales problemas del concreto en grandes superficies. (Instituto Mexicano del cemento y del concreto, A.C. 2011).

En países vecinos como Ecuador y México se han realizado diversos estudios sobre la influencia de la fibra de polipropileno adicionada en concreto, presentando resultados muy prometedores para masificar su utilización. Entre ellos destaca el estudio realizado por Mendoza, Aire y Dávila (2011), quienes demostraron que la presencia de fibras de polipropileno en el concreto en estado fresco, reducía el agrietamiento por contracción plástica y en estado endurecido incrementaba su tenacidad y resistencia al impacto. Asimismo, el estudio de Millán (2013), quien demostró que la adición de fibra de polipropileno a la mezcla de concreto, producía un aumento en sus resistencias a compresión, flexión y tracción. Sin embargo, no se han encontrado referencias bibliográficas que contengan estudios científicos que demuestren la influencia del uso de la fibra de polipropileno en las propiedades físicas y mecánicas de un mortero de cemento.

Con el desarrollo de la presente investigación, se pretende contribuir con el estudio del comportamiento de un mortero en estado fresco y endurecido, a partir de la incorporación de la fibra de polipropileno, obteniendo como materia prima un

material con una amplia gama de propiedades y considerado uno de los más atractivos por sus ventajosas condiciones de competitividad económica.

El mortero a estudiar tendrá fines de reparación estructural, motivo por el cual se optó por utilizar cemento Tipo MS para su elaboración, puesto que es el más adecuado para ejecutar obras en condiciones adversas del entorno.

Al ser un país, en donde el gran volumen de importaciones está representado por los productos primarios de plástico (SNI, 2016) es obvio que el polipropileno es muy significativo en el territorio peruano. Lo cual puede ser un gran recurso a utilizarse en el sector construcción que contribuyen al desarrollo integral del país.

Esta investigación está enfocada a contribuir con el estudio del comportamiento de un mortero en estado fresco y endurecido, a partir de la incorporación de fibra de polipropileno, contribuyendo con un sustento técnico que demuestre que los morteros adicionados con este material compuesto son aplicables, produciendo impactos positivos en la industria de la construcción y en el entorno económico.

#### **1.4. Limitaciones**

- Para el desarrollo de los ensayos, no se dispuso con la normativa suficiente para morteros en las bibliotecas de la ciudad de Trujillo, es por ello que se realizó la búsqueda de información por internet, encontrándose mucha de ella no disponible para su lectura y/o redactada en otro idioma.
- No se contó con un termohigrómetro, instrumento de medición necesario para medir la temperatura y humedad relativa en el ensayo de contracción plástica de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C1579-13, por lo que, se instaló un termómetro, en la cámara ambiental controlada, para registrar las temperaturas de inicio en las que se producían la fisuras.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la fibra de polipropileno sobre las propiedades de un mortero de reparación en estado fresco y en estado endurecido.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización física de los materiales pétreos a ser utilizados para la elaboración del mortero.
- Realizar el diseño de mezcla de un mortero para una resistencia a la compresión de  $210 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días.
- Determinar el asentamiento, la temperatura y la fisuración por contracción plástica de un mortero convencional y con incorporación de fibra de polipropileno de 300 g, 600 g y 900 g, por metro cúbico de mortero.
- Determinar la resistencia a la compresión y flexión de un mortero convencional y con incorporación de fibra de polipropileno de 300 g, 600 g y 900 g, por metro cúbico de mortero.
- Realizar el análisis económico de elaborar un mortero reforzado con fibras de polipropileno y un mortero convencional.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

- Mendoza, Aire y Dávila (2011) en su tesis de grado titulado **Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estado plástico y endurecido**, tuvieron como objetivo estudiar el efecto de las fibras cortas de polipropileno en las propiedades del concreto en sus estados físicos. Para llevar a cabo este estudio se fabricaron ocho mezclas de concreto las cuales se ensayaron en estado fresco y a las edades de 7 y 28 días. Para cada tamaño de agregado grueso (9.5 y 19.00 mm), se realizaron cuatro mezclas, una de referencia y las otras tres con consumo de fibras de 0, 1,3 y 5  $kg/m^3$  de concreto. Al concreto en estado fresco, se le determinó el asentamiento, contenido de aire, masa unitaria y agrietamiento por contracción plástica. Mientras que al concreto en estado endurecido, se evaluó la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad, la relación de Poisson, la resistencia a la tensión, la tenacidad, la resistencia al impacto y la contracción por secado.

Los resultados que el investigador presentó fueron los siguientes: En cuanto al concreto en estado fresco, la presencia de fibras modificó la consistencia de la mezcla cuando los consumos de fibra fueron de 5  $kg/m^3$ . Asimismo, se redujo en forma importante el agrietamiento por contracción plástica cuando los consumos de fibras de polipropileno fueron igual o mayor a 3  $kg/m^3$  del volumen del concreto. En cuanto al concreto en estado endurecido, la resistencia del concreto al impacto se incrementó en forma significativa con el consumo de fibras de polipropileno de 5  $kg/m^3$ . La tenacidad del concreto, también se incrementó en forma importante con el consumo de fibra, sobre todo en las mezclas con agregado grueso de 9.5 mm. Caso similar ocurrió con la contracción por secado, la cual también se redujo en forma importante al aumentar la cantidad de fibra incluida sobre todo en las mezclas con el mismo tamaño de agregado.

Por lo tanto, en base a los resultados del estudio, se concluyó que la presencia de fibras en el concreto fresco modificó la consistencia de la mezcla y redujo el agrietamiento por contracción plástica; mientras que en estado endurecido, incrementó la tenacidad, la resistencia al impacto y redujo la contracción por secado y agrietamiento.

Basándonos en esta investigación, la mencionada tesis permitió identificar la influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto proporcionando mejoras en algunas de ellas, por ejemplo, en la contracción plástica, uno de los aspectos que se busca mejorar para lograr un óptimo desempeño en este caso, de un mortero de reparación.

- Barros y Ramírez (2012) en su tesis de grado titulada **Diseño de hormigones con fibras de polipropileno para resistencias a la compresión de 21 y 28 MPa con agregados de la cantera de Fifo**, tuvieron como objetivo determinar la cantidad adecuada de fibra de polipropileno a adicionarse a un hormigón para resistencias a la compresión de 21 y 28 MPa. Para llevar a cabo este estudio se fabricaron 15 probetas por cada edad (7, 14 y 28 días), dando un total de 45 cilindros para cada resistencia y otros 45 por cada resistencia sin fibra. Las concentraciones utilizadas de fibra de polipropileno fueron del: 0.1%, 0.13%, y 0.17% del volumen del hormigón y se realizaron los ensayos a compresión simple de las probetas a las edades mencionadas.

Los resultados que el investigador presentó fueron los siguientes: En cuanto a la resistencia a la compresión, con una concentración de 0.13% de fibra de polipropileno, a los 28 días de curado, las probetas diseñadas para una resistencia de  $f'c = 21$  MPa con fibra alcanzaron una resistencia de  $241.60 \text{ kg/cm}^2$ , notándose un incremento del 4 % con respecto a la probeta sin fibra que tuvo una resistencia de  $233 \text{ kg/cm}^2$ . Asimismo, para las probetas diseñadas para una resistencia de  $f'c = 28$  Mpa con fibra tuvieron una resistencia de  $306.95 \text{ kg/cm}^2$ , notándose un incremento del 13% con respecto a la probeta sin fibra que obtuvo una resistencia de  $270.44 \text{ kg/cm}^2$ .

Finalmente, en base a los resultados del estudio, se concluyó que las fibras de polipropileno incluidas en el hormigón simple proporcionaron pequeños incrementos en la resistencia a la compresión, siendo la dosificación adecuada la del 0.13 % del volumen del hormigón, con la cual se obtuvieron los mejores resultados.

La mencionada tesis permite identificar la influencia de la fibra de polipropileno y establecer el porcentaje óptimo que puede añadirse en el concreto para mejorar sus propiedades mecánicas, en este caso, su resistencia a la compresión,

propiedad que será evaluada en un mortero de reparación en el presente trabajo de investigación.

- Millán (2013) en su tesis de grado titulada **Comportamiento del hormigón reforzado con fibras de polipropileno y su influencia en sus propiedades mecánicas en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua** tuvo como objetivo analizar el comportamiento del hormigón reforzado con fibras de polipropileno y determinar la variación en sus propiedades mecánicas al adicionar distintos porcentajes de dicha fibra. Para llevar a cabo este estudio se realizó la dosificación del hormigón para resistencias de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y  $240 \text{ kg/cm}^2$ . Se tomaron seis muestra de cilindros y una muestra de viga para cada dosificación del hormigón, los mismos que estuvieron constituidos por distintas concentraciones de fibra del 0.1%, 0.15%, 0.2%, 0.25%, 0.3% del volumen del hormigón, además se tomaron seis muestras de cilindros y una muestra de viga de hormigón simple como referencia (sin fibra). Se ensayaron las probetas para analizar sus propiedades mecánicas en estado fresco y su comportamiento a compresión, tracción y flexión en estado endurecido.

Los resultados que el investigador presentó fueron los siguientes: En cuanto al concreto en estado fresco: la inclusión de la fibra de polipropileno influyó en la trabajabilidad de la mezcla y en su consistencia a través de la disminución de su asentamiento en al menos 15 mm. En cuanto al concreto en estado endurecido: Con un 0.23% de fibra de polipropileno, las resistencias a la compresión, flexión y tracción presentaron un aumento considerable de aproximadamente el 5%, 40% y 20% respectivamente, en relación al hormigón simple (sin fibras). Asimismo, en cuanto a las deflexiones del hormigón, de ambas resistencias ( $210$  y  $240 \text{ kg/cm}^2$ ) reforzado con polipropileno, fueron superiores a las del hormigón simple en un 186% y 190% respectivamente, permitiendo que este sea mucho más dúctil, con una mayor deformación.

Por lo tanto, en base a los resultados del estudio, se concluyó que el 0.23% de fibra de polipropileno fue el porcentaje óptimo tanto como para compresión, tracción y flexión y con el cual se obtuvieron los mejores resultados.

La mencionada tesis permite observar la influencia de la adición de fibras de polipropileno en el hormigón y a la vez establecer una cantidad óptima que aporte

mejores características y propiedades mecánicas, dentro de las cuales destacan la resistencia a la compresión y flexión, propiedades mecánicas que serán evaluadas en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

- Vásquez (2014) en su artículo científico titulado **Incremento del volumen de fibra de polipropileno en la resistencia a la flexión, tracción y trabajabilidad en un concreto reforzado** tuvo como objetivo describir la influencia del incremento de volumen en la resistencia a la flexión, tracción y trabajabilidad en un concreto reforzado con Cemento Tipo I. Para llevar a cabo este estudio se trabajó con una dosificación de 0.04% de plastificante (Z fluidizante) respecto al contenido del cemento, con una relación a/c de 0.51 y con contenidos de fibra de 0 g., 200 g., 400 g., 600 g. y 800 g. por metro cúbico de la mezcla.

Los resultados que el investigador presento fueron los siguientes: La viga que obtuvo mayor resistencia a la flexión fue la de 800 gr, con una resistencia de 84.6  $kg/cm^2$  y la que obtuvo menos resistencia fue la de 0 gr, con una carga de 56.7  $kg/cm^2$  ya que a esta no se le agregó fibra de polipropileno. Por lo tanto, en base a los resultados obtenidos se concluyó que al añadir mayores cantidades del polímero se podían soportar tensiones relativamente altas de tracción.

Basándonos en esta investigación, el mencionado artículo da muestra de que efectivamente las fibras de polipropileno tienen una influencia significativa en la resistencia a la flexión de un concreto, propiedad que se busca optimizar en este caso, en un mortero de reparación.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. El mortero

“Es la mezcla de un material aglutinante (cemento portland y/o otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto” (Sánchez, 1987, p.303).

Pueden presentar una función no estructural, cuando son utilizados en revestimientos o sí tenerla, al ser utilizados en la mampostería (pega o relleno) o fundición de elementos estructurales. (Salamanca, 2001).

### 2.2.2. Componentes del mortero

#### 2.2.2.1. Cemento portland

Es un cemento hidráulico, porque fragua y endurece por la reacción química con el agua, llamándose a este proceso *hidratación*. (Sánchez, 2001),

Durante la hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una pasta que al adicionarse con los agregados, los unirá para formar el concreto y/o mortero. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004)

#### Composición del cemento portland

Sánchez (2001) considera que los componentes principales del cemento son cuatro y se pueden observar en la Tabla N° 1:

**Tabla N° 1:** Componentes principales del cemento

Nombre del componente	Composición oxida	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3CaO \cdot SiO_2$	$C_3S$
Silicato dicálcico	$2CaO \cdot SiO_2$	$C_2S$
Aluminato tricálcico	$3CaO \cdot Al_2O_3$	$C_3A$
Alumino Ferrito tetracálcico	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	$C_4AF$

Fuente: Tecnología del concreto y del mortero (p.35)

#### a) Silicato tricálcico ( $C_3S$ ):

“Se hidrata y se endurece rápidamente. Es el responsable, en gran parte, por el inicio del fraguado y la resistencia temprana” (Kosmakta, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004, p. 55)

**b) Silicato dicálcico ( $C_2S$ ):**

“Se hidrata y se endurece lentamente. Contribuye grandemente para el aumento de resistencia en edades más allá de una semana” (Kosmakta, Kerkhoff, Panarese & Tanesi, 2004, p.56)

**c) Aluminato tricálcico ( $C_3A$ ):**

“Es responsable de la resistencia del cemento a los sulfatos ya que al reaccionar con ellos produce sulfoaluminatos con propiedades expansivas, por lo que es necesario limitar su contenido”. (Pasquel, 1995, p.22)

Por su parte, Kosmakta, Kerkhoff, Panarese y Tanesi (2004) también sostienen que: “Los cementos con bajos porcentajes de  $C_3A$  resisten mejor a suelos y aguas con sulfatos” (p.56)

**d) Aluminio ferrito tetracalcico ( $C_4AF$ ):**

Contribuye reducidamente en la resistencia. Junto con sus hidratos, aportan la mayoría de los efectos de color para el cemento gris. (Kosmakta, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004).

**Tipos de cemento**

La NTP 334.082.2008, clasifica a los cementos portland, de acuerdo a sus propiedades específicas en 6 tipos:

- Tipo GU: De uso general, donde no se requieran propiedades especiales.
- Tipo HE: De alta resistencia inicial
- Tipo MS: De moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo HS: De alta resistencia a los sulfatos.
- Tipo MH: De moderado calor de hidratación
- Tipo LH: De bajo calor de hidratación.

**2.2.2.2. Agregados**

“Son todos aquellos materiales naturales o artificiales que, poseyendo una resistencia propia suficiente (resistencia del grano), no perturban ni afectan el proceso de endurecimiento del cemento hidráulico, es decir, que son inertes y

garantizan una adherencia suficiente con la pasta de cemento endurecida” (Sánchez de Guzmán, 1897 p.23).

Según su tamaño, pueden dividirse en suelos finos, material de tamaño inferior a 0.074 mm (tamiz No. 200) y suelos gruesos, material de tamaño superior a 0.074 mm (tamiz No. 200). La fracción fina de los suelos gruesos, cuyas partículas tienen un tamaño inferior a 4,76 mm (tamiz No.4) se denomina agregado fino, y la fracción gruesa, o sea aquellas partículas que tienen un tamaño superior a 4,76 mm (tamiz No. 4), es lo que comúnmente se llama agregado grueso. (Rivera, pg 48).

Una de las funciones de los agregados, en combinación con la pasta fraguada, es la de proporcionar parte de la resistencia mecánica característica a la compresión, debido a que, estos tienen una resistencia propia que aporta al concreto y/o mortero como masa endurecida. Asimismo, cuando la mezcla de concreto y/o mortero pasa del estado plástico al estado endurecido durante el proceso de fraguado, los agregados controlan los cambios volumétricos de la pasta, evitando que se generen agrietamientos por retracción plástica que pueden afectar la resistencia del concreto y/o mortero (Sánchez de Guzmán, 1987).

### **Propiedades físicas de los agregados**

- **Granulometría:**

Es la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen una masa de agregados. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en dividir una muestra de agregado en fracciones de igual tamaño. Esta operación se realiza pasando el agregado a través de una serie de tamices con diferentes tamaños de abertura.

La operación de tamizado debe ejecutarse de acuerdo con la norma NTP 400.012 en la cual se describen el tamaño de la muestra a ensayarse y los procedimientos adecuados para realizar el análisis.

Los resultados del análisis granulométrico permiten representar gráficamente la curva granulométrica, la cual representa el porcentaje acumulado que pasa a través de cada uno de los tamices y que permite conocer que tan grueso o fino es, así como determinar deficiencias o excesos de un tamaño en particular.

Asimismo, del análisis granulométrico se derivan algunos factores como el módulo de finura o tamaño máximo que posteriormente se utilizarán como parámetros de diseño de una mezcla de concreto y/o mortero,

El módulo de finura, es un factor empírico, que permite estimar que tan fino o grueso es un material. En la medida que se acerca a 0 indica un agregado fino y en la medida que aumenta su valor indica que es un agregado grueso. Se ha centrado en la evaluación de los grados de finura del agregado fino o arena.

El tamaño máximo, está definido como la abertura del menor tamiz de la serie que permite el paso del 100% del material, lo que indica el tamaño de la partícula más grande que hay dentro de la masa de agregados. (Sánchez de Guzmán, 1987).

El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites especificados en la norma NTP 400.037-14, los cuales están indicados en la Tabla N° 2.

**Tabla N° 2:** Límites especificados del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4, 75 mm (No.4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No.16)	50 a 85
600 um (No.30)	25 a 60
300 um( No.50)	05 a 30
150 um (No.100)	0 a 10

Fuente: NTP 400.037-14

Sin embargo la norma también indica que puede permitirse el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, cuando existan estudios que aseguren que el material producirá concreto de la resistencia requerida.

Es importante que los agregados estén bien gradados, es decir, tengan suficiente cantidad de cada tamaño. La mala gradación de la arena, puede corregirse a través del lavado de los agregados a fin de remover el limo, la arcilla, y el exceso de finos que, son perjudiciales para el concreto (Sánchez de Guzmán, 2011). Si el agregado no cumple con una especificación granulométrica, es

posible mezclarlos con otro para que cumpla la granulometría propuesta (Rivera, 2013). Asimismo, aun teniendo ciertos componentes no adecuados para el hormigón, se puedan aprovechar al ser tratados con algún compuesto (o aditivo) que ayude a minimizar los efectos perjudiciales. (Pérez, 2015)

- **Densidad o peso específico:**

Está definida como la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada. Dependiendo de la permeabilidad interna de los poros de las partículas, se definen las siguientes densidades:

- **Densidad absoluta:**

Es la relación entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupa única y exclusivamente la masa sólida, es decir, se excluyen todos los poros, saturables y no saturables.

- **Densidad nominal:**

Es la relación entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material, incluidos los poros no saturables.

- **Densidad aparente:**

Es la relación entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupan las partículas de ese material, incluidos todos los poros, saturables y no saturables (Sánchez de Guzmán, 1987)

- **Absorción:**

La porosidad está relacionada con la capacidad de absorción de agua dentro de los agregados según el tamaño de los poros, su permeabilidad y su volumen total. Por ello, la capacidad de absorción se mide para cuantificar la influencia de la porosidad dentro del agregado, ya que las partículas del agregado pueden pasar por cuatro estados: seco, parcialmente saturado, superficialmente seco y húmedo. (Sánchez de Guzmán, 1987)

La absorción tiene importancia pues se refleja en el mortero reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias (AFAM, 2003).

- **Peso Unitario:**

Es la relación existente entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas, y el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido.

El peso del material depende de que tan compactas y densas sean las partículas y del acomodamiento de ellas si se han sometido a vibración o si se encuentran en estado normal.

El volumen del recipiente, incluye el volumen de las partículas, el volumen de los poros de las partículas (saturables y no saturables) y el volumen de los espacios entre partícula y partícula (Sánchez de Guzmán, 1987).

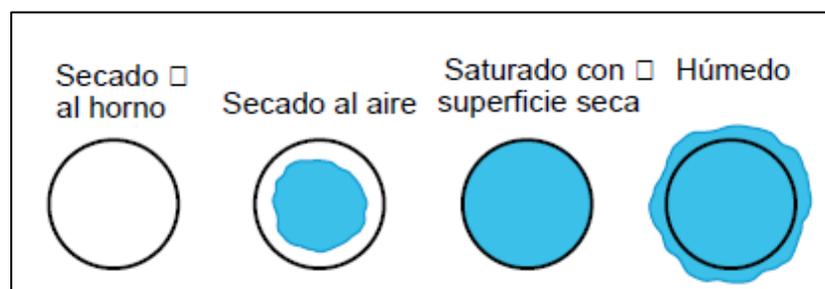
- **Humedad**

Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado. Es una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el mortero, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas (AFAM, 2003).

Las condiciones de humedad de los agregados se presentan en la figura N° 1 y se definen como:

- Secado al horno: Totalmente absorbente.
- Secado al aire: La superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad, por lo tanto, aun es ligeramente absorbente.
- Saturado con superficie seca: No absorben ni ceden agua al concreto.
- Húmedos: Contienen un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre).

**Figura N° 2:** Condiciones de humedad de los agregados



Fuente: Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, y Tanesi, p.115, 2004

### 2.2.2.3. Agua

Es el componente del concreto con el cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. Se clasifica en agua de mezclado y agua de curado.

- **Agua de mezclado:**

Es la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico.

- **Agua de curado:**

Constituye el suministro adicional de agua para hidratar eficientemente el cemento a fin de que el concreto y/o mortero alcance sus propiedades potenciales. (Sánchez de Guzmán, 1987). Este proceso adicional es muy importante, ya que, una vez colocado el concreto y/o mortero pierde agua por diversas situaciones tales como: altas temperaturas del ambiente, alta absorción de la zona de colocación, o fuertes vientos que incrementan la velocidad de evaporación. (Osorio, s.f.)

El agua empleada en la preparación y curado del concreto, deberá cumplir con los requisitos de la NTP 339.088 y ser, de preferencia, potable. La norma, establece requisitos para el agua de mezclado y de curado que se detallan en la tabla N° 3.

**Tabla N° 3:** Límites permisibles para agua de mezcla y curado

	Descripción	Límite permisible
1	pH	5,5 – 8,0
2	Sólidos en suspensión	5000 ppm Máximo
3	Alcalinidad ( $NaCHO_3$ )	<600 ppm Máximo
4	Sulfato (ion $SO_4$ )	<3000 ppm Máximo
5	Cloruros (ion Cl)	<1000 ppm Máximo
6	Conductividad, 25 °C	<1500 uS/cm
7	Carbonatos y bicarbonatos de alcalinos ( $NAHCHO^2$ )	<1000 ppm

Fuente: NTP 339.088

#### **2.2.2.4. Aditivos**

Según el Comité ACI- 212 un aditivo se puede definir como “un material distinto del agua, agregados y cemento hidráulico, que se usa como ingrediente en concretos o morteros y se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado”.

Los aditivos se usan para modificar las propiedades del concreto y/o mortero de tal manera que lo hagan más adecuado para las condiciones de trabajo o por economía (Sánchez de Guzmán, 1987).

Los aditivos que deben emplearse en la fabricación del concreto deberán cumplir con las especificaciones de la norma NTP 334.088 “Aditivos químicos en pastas, morteros y hormigón (concreto)”.

#### **Aditivos plastificantes**

Los plastificantes o reductores de agua, influyen en el concreto para que actúen directamente sobre el cemento y las adiciones. El efecto directo de un plastificante sobre la pasta de cemento es disminuir la viscosidad de la misma, haciendo que la pasta de cemento se vuelva “más líquida” y fluya más rápido. Lo logra recubriendo las partículas de cemento y provocando una repulsión entre estas. Cuando las partículas se repelen entre sí, existe menos resistencia al flujo del conjunto, lo que permite la liberación y mejor distribución del agua, haciendo que la pasta del cemento y por ende el concreto, fluya más (Aditivos para Concreto, Sika Colombia S.A.S.).

#### **2.2.3. Propiedades del mortero**

##### **2.2.3.1. Mortero Fresco**

- **Consistencia**

Está relacionada con la manejabilidad. La consistencia está referido al estado de fluidez, es decir, que tan dura (seca) o blanda (fluida) es una mezcla de concreto cuando se encuentra en estado plástico (Sánchez de Guzmán, p.111, 1987).

- **Manejabilidad**

Según el comité 211 de ACI, la manejabilidad conocida también como trabajabilidad, es aquella propiedad del concreto mediante la cual se determina su capacidad para ser colocado y consolidado apropiadamente y para ser terminado sin segregación alguna. Se acepta como la medida de la manejabilidad, la

característica de fluidez de la mezcla medida en el ensayo de la mesa de flujo (ASTM C-230).

- **Temperatura**

Depende del aporte calorífico de cada uno de los componentes del concreto, ya que la influencia de cada material depende de su calor específico, de su masa y de su temperatura, además del calor liberado por la hidratación del cemento, la energía añadida durante el mezclado y el calor absorbido o entregado al medio ambiente (Sánchez de Guzmán, p.124, 1987).

- **Contracción plástica**

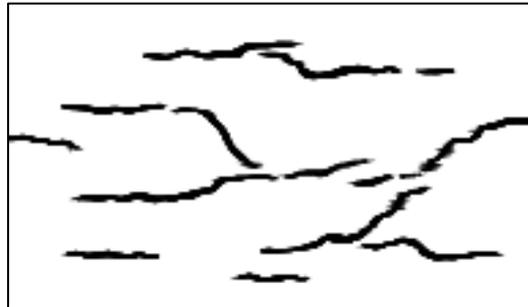
Se denomina así a los cambios volumétricos que generalmente se presentan en superficies horizontales mientras el concreto aún está fresco. Por lo común, generan grietas que aparecen brevemente después de que el brillo del agua desaparece de la superficie del concreto y una vez que comienzan se extienden rápidamente.

Este tipo de grietas es más probable que ocurra en clima caliente y seco, que en clima húmedo y frío, pues la principal razón de que se presenten grietas por contracción plástica, es la evaporación extremadamente rápida del agua de la superficie de concreto. En estos casos, la velocidad de evaporación de agua superficial es mayor que la velocidad de exudación de agua desde el interior hacia la superficie. Este fenómeno hace que se produzca la contracción en la superficie y aparezcan las fisuras.

La tasa de evaporación depende de la temperatura del aire, de la humedad relativa, de la temperatura que tenga la superficie del concreto y de la velocidad del viento sobre la misma superficie. Si la tasa de evaporación alcanza 1 litro/m<sup>2</sup>/hora es aconsejable que se tomen precauciones contra la fisuración por contracción plástica.

Las grietas de contracción plástica generalmente tienen profundidad considerable y en losas de entrepiso, algunas veces pasan de lado a lado. Por lo común, son grietas en forma de línea recta que no siguen un mismo patrón y no presentan ninguna simetría. (Sánchez de Guzmán, 1987).

**Figura N° 3:** Típica fisuración por contracción plástica



Fuente: ACI 224.1R-93, pg. 3, 1993.

### 2.2.3.2. Mortero endurecido

Las resistencias a flexión y compresión son las propiedades mecánicas más importantes que se evalúan en un mortero, llegando a ser la resistencia a la compresión, un requisito esencial que debe cumplir cualquier tipo de mortero. Existen numerosos factores que tienen influencia sobre la resistencia abarcando desde los distintos tipos y calidad de los componentes empleados, las dosificaciones, las forma de ejecución, las condiciones de curado, etc., hasta la existencia de factores agresivos a través del tiempo (Alejandre Sánchez, 2002).

- **Resistencia a la compresión**

Según Harmsen (2005), algunos de los factores que afectan la resistencia a la compresión del mortero son:

- Relación a/c

Es el factor que más influye en la resistencia del concreto y constituye la razón entre el peso del agua y el peso del cemento utilizados en la mezcla. Si el a/c disminuye, la porosidad decrece, consiguiéndose un concreto denso, de buena calidad y alta resistencia. Mientras mayor es la relación a/c menor es la resistencia del concreto.

- Tipo de cemento

De acuerdo al tipo de cemento, el desarrollo de la resistencia a la compresión varía con el tiempo.

- Tipo de agregado

En función de su textura de su superficie, gradación, tamaño máximo, etc.

- Duración del curado

El procedimiento para el desarrollo de este ensayo para morteros está especificado en la norma ASTM C109.

- **Resistencia a la flexión**

Es una característica mecánica del concreto muy importante, especialmente en estructuras de concreto simple, en donde aparecen esfuerzos de tracción. La tracción tiene importancia en el agrietamiento del concreto debido a la restricción de la contracción inducida por secado o por disminución de temperatura

La resistencia a la flexión se determina ensayando vigas de sección cuadrada de 40x40x160 mm, dimensiones que se mantienen vigentes en la norma UNE-EN 1015-11:2000 para el ensayo de estas propiedades mecánicas en los morteros.

#### **2.2.4. Diseño de mezcla**

Neville y Brokk (1998) definen diseño de mezcla como: “El proceso de selección de los ingredientes adecuados del concreto, para determinar sus cantidades relativas con el propósito de cumplir un concreto económico, con ciertas propiedades mínimas, notable manejabilidad, resistencia y durabilidad”.

El objetivo del diseño de mezclas es determinar las proporciones en que deben combinarse los materiales componentes, a manera de obtener las condiciones esperadas que debe cumplir el concreto, tomando en consideración las propiedades generales en estado fresco y endurecido. (Zavaleta, 1992)

##### **2.2.4.1. Información requerida de los materiales**

De acuerdo con el ACI-22, la selección de las proporciones de una mezcla de concreto debe estar basada en datos de ensayo (propiedades de los materiales) o experiencia con los materiales que se van a utilizar. Sánchez Guzmán, señala que la siguiente información es de gran utilidad:

- **Propiedades del cemento:**

- Peso específico
- Superficie específica
- Expansión al autoclave
- Resistencia a la compresión a 1, 3, 7, 14, 28 y 56 o 90 días de edad.
- Composición química

- **Calidad del agua:**

El agua a utilizarse debe cumplir con lo especificado anteriormente en la tabla N°3.

- **Propiedades del agregado:**

Gran parte de las propiedades del concreto, tanto en estado plástico como endurecido, dependen de las características y propiedades de los agregados. Por esta razón, la siguiente información es importante:

- Análisis granulométrico.
- Forma y textura superficial de las partículas.
- Peso específico aparente.
- Capacidad de absorción de agua.
- Contenido de humedad.
- Masas unitarias.
- Contenido de finos y sustancias perjudiciales.

- **Características de los aditivos:**

Los aditivos deben tener compatibilidad con el cemento, y los materiales empleados y su eficiencia dentro de la mezcla de concreto, por lo tanto, la siguiente información es importante:

- Capacidad de reducción de agua.
- Efecto sobre manejabilidad y plasticidad.
- Efecto sobre la pérdida de asentamiento.
- Efecto sobre la velocidad de fraguado.
- Efectos sobre la contracción, resistencia, y otras propiedades del concreto.

### **2.2.5. Mortero reforzado con fibras**

La inclusión y dispersión de fibras en el seno del mortero es una práctica tan antigua como ellos mismos, habiéndose utilizado en la mayoría de los casos fibras de origen vegetal e incluso pelos de origen animal (Alejandre, 2002).

El propósito de reforzar la matriz de cemento con fibras, es incrementar la resistencia a la tensión al retardar el crecimiento de grietas y aumentar la dureza al transmitir esfuerzo a través de la sección agrietada. El refuerzo de fibra mejora también la resistencia al impacto, la fatiga y disminuye la contracción por fraguado (Neville y Brooks, 1998).

#### **2.2.5.1. La fase matriz**

La fase matriz de un material compuesto con fibras cumple varias funciones. En primer lugar, une las fibras y actúa como un medio que distribuye y transmite a las fibras los esfuerzos externos aplicados, solo una pequeña fracción del esfuerzo aplicado es resistido por la matriz. En segundo lugar, la matriz protege las fibras del deterioro superficial que puede resultar de reacciones químicas con el medio ambiente, pudiendo producir defectos superficiales capaces de originar grietas. Finalmente la matriz, separa las fibras y actúa como una barrera que evita la propagación de grietas de una fibra a otra (Callister, 1996).

Es esencial que la adherencia de unión entre fibra y matriz sea elevada para minimizar el arrancado de fibras. La resistencia a la tracción final del compuesto, depende en gran parte de la magnitud de esta unión. Una unión adecuada es esencial para optimizar la transmisión de esfuerzos desde la plástica matriz a las fuertes fibras (Callister, 1996).

#### **2.2.5.2. Las Fibras**

La norma ASTM C-1116 define las fibras como “filamentos finos y alargados en forma de haz, malla o trenza, de algún material natural o manufacturado que pueda ser distribuido a través de una mezcla de hormigón fresco”. Las fibras se añaden al concreto durante el mezclado. Los factores principales que controlan el desempeño del material compuesto son:

- Propiedades físicas de las fibras y de la matriz.
- Resistencia de adherencia entre la fibra y a matriz.

Las fibras se adicionan al concreto normalmente en bajos volúmenes (frecuentemente menos del 1%) y han mostrado eficiencia en el control de la fisuración por retracción. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, y Tanesi, 2004). Empleadas en cantidades adecuadas, pueden aumentar la resistencia al agrietamiento y disminuir la abertura de las fisuras (Shah, Weiss e Yang, 1998).

Existen numerosos tipos de fibras disponibles para uso comercial y para uso experimental y las categorías básicas son las fibras de acero, fibras de vidrio, fibras sintéticas y fibras naturales (Comité ACI 544.1R-96, 2002).

## 2.2.6. Fibra de polipropileno

Las fibras de polipropileno son las más populares de las fibras sintéticas, son químicamente inertes, hidrofóbicas y ligeras. Se producen como monofilamentos de sección circular que se pueden cortar según la longitud requerida.

Usadas en un volumen mínimo de 0.1% del volumen del concreto, las fibras de polipropileno reducen la fisuración (agrietamiento) por retracción plástica y disminuyen el agrietamiento sobre la armadura de acero (Suprenant y Malish 1999). La presencia de las fibras de polipropileno en el concreto puede reducir el asentamiento o la sedimentación de las partículas de agregados, así, reduciendo los canales capilares de sangrado (exudación).

Se recomienda utilizar fibras largas cuando en la granulometría predominan los agregados gruesos y fibras cortas cuando se prepara el concreto con altos contenidos de agregado fino o arenas. (Texdelta, 2014).

### 2.2.6.1. Tipos de fibras de polipropileno

- **Monofilamento**

Fibra de filamento único típicamente cilíndrica en su sección transversal. En lugar de un grupo de filamentos que se extruye a través de una hilera para formar un hilo, los monofilamentos generalmente se hilan individualmente. (Comité ACI 544.1 R-96, 2002).

- **Multifilamento**

Consiste en muchos filamentos o cordones continuos, a diferencia del monofilamento, que es una cadena. (Comité ACI 544.1 R-96, 2002).

**Figura N° 4:** Fibra multifilamento (izquierda) y fibra monofilamento (derecha)



Fuente: Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, y Tanesi, p.157, 2004.

### **2.2.6.2. Ventajas de la fibra de polipropileno**

Según la ficha Técnica SikaCem-1 fiber, la fibra de polipropileno aporta las siguientes ventajas:

- Reduce la fisuración por retracción e impide su propagación.
- Produce un aumento importante del índice de tenacidad del concreto.
- Mejora la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad.
- En mayor cuantía, mejora la resistencia a la tracción y a la compresión.

Según Texdelta (2014), las ventajas del uso de la fibra de polipropileno como sistema de refuerzo son las siguientes:

- Disminuye la formación de grietas por retracciones y contracciones
- Proveen un refuerzo tridimensional y uniforme.
- No es corrosivo, ni magnético.
- Se mezclan fácilmente con el concreto, ya sea en planta como en obra.
- Aumentan la resistencia al impacto
- Tienen una resistencia alta a la tracción.

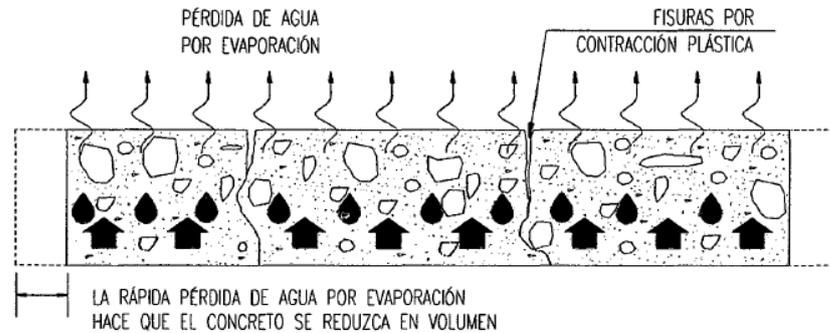
### **2.2.7. Fisuración por contracción plástica**

Según el ACI 224R-01: “La fisuración por contracción plástica ocurre cuando está sujeto a una pérdida de humedad muy rápida provocada por una combinación de factores que incluyen en las temperaturas del aire y del concreto, la humedad relativa y la velocidad del viento en la superficie del concreto. Estos factores pueden combinarse de manera de provocar niveles altos de evaporación superficial tanto en clima calurosos o como en clima frío” (p.2).

Las fisuras se distinguen por la edad de aparición en un elemento estructural, por su forma y trayectoria, abertura, movimiento, etc. La determinación de las causas que han provocado las fisuras es importante como medida previa a la reparación. (Munizaga, 2009).

Las fisuras por contracción plástica comienzan con fisuras de poca profundidad, pero pueden convertirse en fisuras cuya profundidad abarque la totalidad de la altura del cemento. (Comité ACI 224R-01).

**Figura N° 5:** Formación de una fisura por contracción plástica



Fuente: Valero Galarza, p. 66. 2015.

**Tabla N° 4:** Velocidad del viento

Velocidad del viento (km/h)	Descripción	Efectos
0-1.5	Calma	El humo sube vertical
1.5-6	Corriente suave	El humo sube inclinado
6-11	Brisa ligera	Las hojas susurran
11-20	Brisa suave	Las hojas se mueven
20-28	Brisa moderada	El polvo se arremolina y se mueven las ramas pequeñas
28-35	Brisa fresca	Oscilan arbustos pequeños
35-45	Viento fuerte	El viento silba y es difícil usar paraguas
45-56	Viento muy fuerte	Dificultades para caminar

Fuente: Quality Control Express.

### 2.2.7.1. Tipos de fisuras

Existen diversas formas de clasificar a las fisuras, según su profundidad, movimiento o condición de humedad.

- Según su profundidad
- ✓ Fisura superficial  
Compromete la estética de la estructura y la durabilidad si ya alcanzaron las barras del acero de refuerzo.
- ✓ Fisura pasante  
Atraviesa todo el elemento de concreto. Comprometen la rigidez, la durabilidad y la impermeabilidad, además de la estética.

- Según su movimiento
  - ✓ Fisura activa
    - Sujeta a movimiento.
  - ✓ Fisura inactiva (pasiva)
    - No tiene movimiento, es rígida.
- Según su humedad
  - ✓ Fisura seca.
    - No tiene presencia de agua
  - ✓ Fisura con humedad.
    - Tiene presencia de agua.

#### **2.2.7.2. Evaluación de la fisuración.**

Antes de reparar las fisuras del concreto, es importante identificar primero su ubicación y extensión. Se debería determinar si las fisuras observadas indican problemas estructurales actuales o futuros así como establecer las causas de la fisuración.

La ubicación y magnitud de la fisuración, así como el estado general del concreto de una estructura, se puede determinar mediante la observación directa, registrando las ubicaciones y anchos de las fisuras utilizando un esquema de la estructura. Los anchos de las fisuras se pueden medir utilizando una tarjeta de comparación, que es una tarjeta con líneas claramente marcadas, cada una de ellas de un ancho especificado (ACI 224R-01).

El ACI 224R-01 establece una guía para anchos de fisura en concreto armado bajo cargas de servicios para diferentes tipos de exposición, la cual se muestra en la tabla N°5:

**Tabla N° 5:** Guía para anchos razones de fisuras, concreto armado bajo cargas de servicios.

Condición de exposición	Ancho de fisura	
	in.	mm
Aire seco o membrana protectora	0,016	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: ACI 224R-01.

### 2.2.7.3. Objetivos de la reparación estructural

El ACI 224.R-93 señala los siguiente objetivos, de acuerdo a los procedimientos de reparación en base a una cuidadosa evaluación de la magnitud y las causas de la fisuración.

- Restablecer y aumentar resistencia
- Restablecer y aumentar rigidez
- Mejorar la funcionalidad
- Lograr impermeabilidad
- Mejorar la apariencia de la superficie de hormigón
- Mejorar la durabilidad
- Impedir que se desarrolle un ambiente corrosivo en las armaduras

### 2.2.7.4. Métodos de reparación de fisuras

El ACI 224.R-93 propone diferentes métodos para la reparación de fisuras. Entre algunos métodos se encuentran:

- **Llenado con mortero de cemento Portland**

Las fisuras anchas pueden repararse llenándolas con mortero de cemento Portland.

La superficie debe encontrarse limpia, libre de polvo, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de aceite, grasa, pintura, entre otros. El procedimiento consiste en limpiar el concreto en las caras de la fisura. Se coloca el mortero volcándolo sobre la superficie a reparar en forma uniforme corriéndola

en sentido longitudinal y llenándola. Para ayudar al vaciado se pueden utilizar un badilejo o vibradores. Luego de finalizada la colocación, el mortero debe curarse con revestimientos húmedos.

Dependiendo del ancho de la fisura, los morteros pueden contener cemento y agua o cemento más arena y agua. Sin embargo, la relación agua- cemento se debe mantener tan baja como sea posible a fin de maximizar la resistencia y minimizar la retracción. Se pueden usar reductores del agua u otros aditivos para mejorar las propiedades del mortero.

- **Sobrecapa**

Se puede construir una sobrecapa colocando mortero sobre una superficie de hormigón.

Las losas que contienen fisuras finas inactivas se pueden reparar aplicando una sobrecapa de mortero de cemento portland o concreto modificado con polímero.

La superficie a sobrecapa se debe limpiar para retirar la capa superficial (capa de material débil y no durable, que contiene cemento, material fino de los agregados, transportados a la superficie del concreto demasiado húmedo por el agua de exudación) y otros contaminantes tales como grasas o aceites.

Antes de colocar una sobrecapa se debería aplicar una capa adherente consistente en una fracción de mortero, y mezclar, colocar y acabar rápidamente, debido a su rápido endurecimiento.

## 2.3. Hipótesis

### 2.3.1. Formulación de la hipótesis

- **Hipótesis general**

La adición de fibra de polipropileno mejorará las propiedades de un mortero de reparación en estado fresco y endurecido.

- **Hipótesis específicas**

- La adición de fibra de polipropileno mejorará las propiedades en estado fresco de un mortero de reparación como: asentamiento, temperatura y contracción plástica.
- La adición de fibra de polipropileno mejorará las propiedades en estado endurecido de un mortero de reparación como: la resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

Tabla N° 6: Hipótesis

HIPÓTESIS GENERAL	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La adición de fibras de polipropileno mejorará las propiedades de un mortero de reparación en estado fresco y endurecido.	1. Fibra de polipropileno 2. Propiedades en estado fresco y endurecido.	Mortero de reparación	Mejora	Laboratorio de la Universidad Privada del Norte (UPN) sede San Isidro, Trujillo.	2018

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO 3. METODOLOGIA

### 3.1. Operacionalización de variables

Tabla N° 7: Operacionalización de las variables de investigación

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	
V. INDEPENDIENTE: FIBRA DE POLIPROPILENO	Material compuesto de fibras continuas y discontinuas de polipropileno. Utilizado como un aditivo de reforzamiento para la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del concreto.	La fibra de polipropileno será adicionada en un mortero en distintas cantidades, para medir la influencia que esta tiene sobre sus propiedades en estado fresco y endurecido.	Cantidad	Incorporación de 300 g, 600 g y 900 g por metro cubico de mortero.	
V. DEPENDIENTE: PROPIEDADES DE UN MORTERO DE REPARACIÓN EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO	Características que posee un mortero en estado fresco y endurecido, las cuales dependen estrictamente de la calidad de los agregados y aditivos utilizados en su dosificación.	Las propiedades del mortero serán evaluadas mediante ensayos experimentales que se le realizarán tanto en estado fresco como endurecido.	Estado fresco      Estado endurecido	Asentamiento obtenido del ensayo de asentamiento con el cono de Abrahams.  Temperatura  Contracción plástica  Resistencia a la compresión  Resistencia a la flexión	Grado de temperatura obtenido del ensayo de temperatura.  Reducción de ancho y longitud de fisuras  Resistencia obtenida del ensayo a compresión.  Resistencia obtenida del ensayo a flexión.

Fuente y elaboración: Autor de tesis

### 3.2. Tipo de diseño de investigación

La presente investigación es de tipo experimental puro, pues en ella se manipulará la variable independiente para analizar sus efectos sobre las variables dependientes. El diseño de investigación es con post prueba únicamente y grupo de control, el cual incluye dos grupos: El que recibe el tratamiento (grupo experimental) y el otro que no (grupo de control). Una vez concluido el tratamiento, se hace uso de post pruebas para medir la variable dependiente a evaluar.

Por lo tanto, en el caso de la presente investigación, el diseño de investigación está estructurado de la siguiente manera:

- El grupo de control, está representado por un diseño de mezcla de mortero de reparación con resistencia a la compresión de  $210 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días.
- El grupo experimental, está representada por tres diseños de mezclas de mortero con adición de fibra de polipropileno en las dosis de  $300 \text{ g/m}^3$ ,  $600 \text{ g/m}^3$  y  $900 \text{ g/m}^3$ , para una resistencia a la compresión de  $210 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días
- La manipulación de la variable independiente se da al adicionar al mortero convencional dosis de fibra de polipropileno de  $300 \text{ g/m}^3$ ,  $600 \text{ g/m}^3$  y  $900 \text{ g/m}^3$ .
- La post prueba se dio en el grupo de control y en los grupos experimentales, donde se evaluó las propiedades en estado fresco y endurecido de un mortero de reparación.

### 3.3. Población

El proyecto de investigación tiene como población a las probetas cúbicas de mortero de 50 mm x 50mm x 50 mm, probetas rectangulares de mortero de 40 mm x 40 mm x 160 mm y paneles rectangulares de mortero de 560 mm x 360 mm x 110 mm.

### 3.4. Muestra

En la presente investigación, se varía la cantidad de dosis de fibra de polipropileno por metro cúbico de mortero (0 g, 300 g, 600 g, 900 g.) sobre las siguientes propiedades: Temperatura, asentamiento, contracción plástica, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

La muestra se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$n_o = \frac{Z^2 S^2}{E^2}$$

Donde:

n= Muestra

Z= Valor normal a un nivel de confianza dado

S= Valor de la desviación estándar

E= Error máximo tolerable

La desviación estándar (S) que se consideró fue la perteneciente a la tesis “Evaluación del desempeño del concreto autonivelante para losas de contrapiso de una vivienda típica”. En el mencionado estudio el valor de la desviación estándar (S) fue equivalente a  $27,1 \text{ kg/cm}^2$ , de una media de  $211 \text{ kg/cm}^2$ .

Se consideró un nivel de confianza (Z) del 95%, dado que al hacer las mediciones respectivas, siempre se contará con un margen de error ya sea por el uso de balanzas, prensas y/o otros equipos. El valor equivalente al 95% de confianza es de 1.96 (Ver Anexo A.1).

Se consideró el error máximo tolerable (E) de 5% para obtener una muestra significativa que se adapte a los requerimientos de la investigación. Por lo tanto el error máximo equivalente fue de:  $E = 5\%(211) = 10.55 = 11$

Finalmente, reemplazando en la fórmula con los valores indicados se obtuvo un número de muestras de 23 probetas a elaborar para el ensayo a compresión.

Según la ACI 318-14, un ensayo de resistencia a la compresión deberá ser el promedio de las resistencias de al menos dos o tres probetas de concreto o mortero. Por lo tanto se realizarán 3 probetas para cada una de las resistencias a evaluar, es decir, resistencia a compresión y flexión.

En el caso de la cantidad de muestras a realizar para evaluar la contracción plástica, de acuerdo a la ASTM C1579-13, solo es necesario realizar una muestra única por cada dosificación para comparar los paneles.

Por lo tanto, los elementos muestrales estuvieron definidos y cuantificados de la siguiente manera:

- El número de especímenes cúbicos para el ensayo de resistencia a la compresión fue de 6 (3 para cada edad de curado de 7 y 28 días) por dosificación que en total hacen una muestra de 24 especímenes cúbicos.
- El número de viguetas para el ensayo de resistencia a la flexión fue de 6 (3 para cada edad de curado de 7 y 28 días) por dosificación, que hacen una muestra de 24 viguetas.
- El número de paneles de mortero para el ensayo de contracción plástica, corresponde a 1 por dosificación, que hacen una muestra de 4 paneles de mortero.
- En total se tiene **52 muestras**.

**Tabla N° 8:** Distribución de la muestra a ensayar

DISTRIBUCIÓN DE LA MUESTRA A ENSAYAR									
MUESTRA	Mortero patrón		MCF3		MCF6		MCF9		
DÍAS	7	28	7	28	7	28	7	28	
CONTRACCIÓN PLÁSTICA	1	-	1	-	1	-	1	-	
RESISTENCIA COMPRESIÓN	3	3	3	3	3	3	3	3	
RESISTENCIA FLEXIÓN	3	3	3	3	3	3	3	3	
								<b>TOTAL</b>	<b>52 muestras</b>

Fuente: Autor de tesis

### 3.5. Técnicas de recolección y análisis de datos

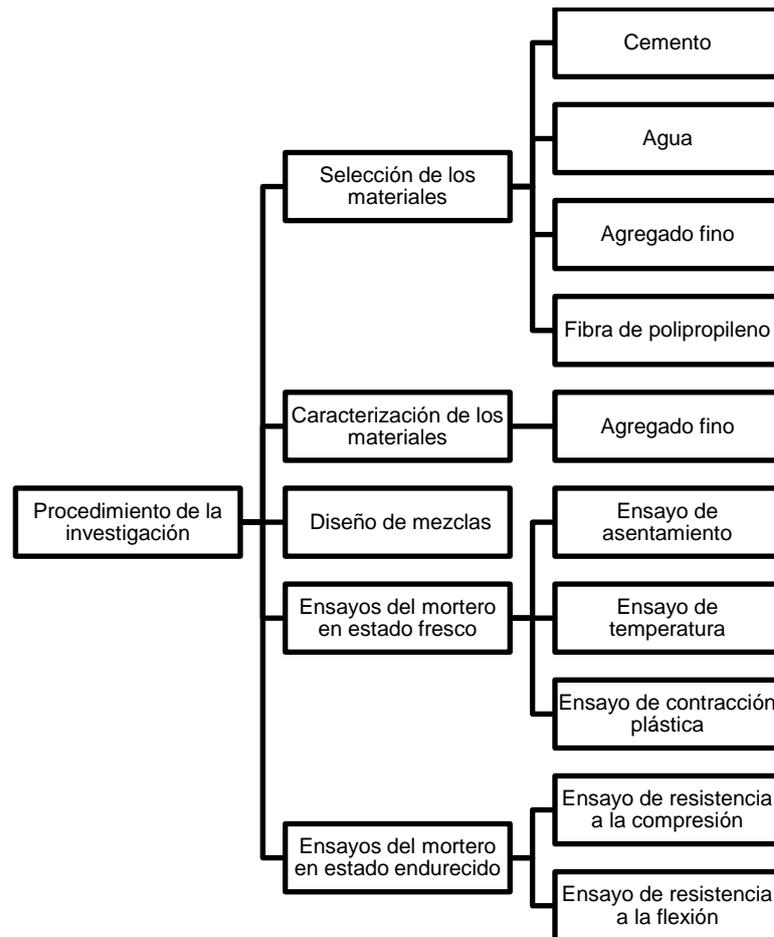
Las técnicas e instrumentos para la recolección de datos en la presente investigación son:

- Antecedentes de investigaciones realizadas con el tema.
- Ensayos estandarizados (ASTM / NTP).
- Instrumentos o aparatos de medidas.

### 3.5.1. Procedimiento

Esta investigación comprende las siguientes etapas:

**Figura N° 6:** Representación esquemática del procedimiento de investigación



Fuente y elaboración: Autor de tesis

A continuación, se detallará cada una de estas etapas:

### 3.5.2. Selección de los materiales

- **Cemento**

El cemento que se utilizó para esta investigación fue el cemento anti salitre portland Pacasmayo Tipo MS. Se eligió este tipo de cemento puesto que presenta mejores propiedades para trabajar en obras de ambientes desfavorables, ya sea exposición a los sulfatos o presencia de cloruros.

Además es el más utilizado en pavimentos y losas, por la misma razón. Las propiedades físicas y químicas de este cemento se detallan en el anexo B.6.

- **Agregado fino**

El agregado fino que se utilizó fue arena natural procedente de la cantera Chicama, ubicado en el distrito de Chicama, provincia de Ascope.

- **Agua**

El agua utilizada para la mezcla y curado del mortero fue agua potable suministrada por la empresa Sedalib S.A.

- **Aditivo plastificante**

El aditivo plastificante a utilizar en esta investigación fue el SikaCem-1 plastificante en polvo fabricado por la empresa Sika. Ver hoja técnica en el anexo B.7

- **Fibra de polipropileno**

La fibra de polipropileno utilizada en esta investigación fue la SikaCem- 1 Fiber, tipo monofilamento, fabricada por la empresa SIKA. Ver hoja técnica en el anexo A.8.

### 3.5.3. Caracterización de los materiales

- **Agregado fino**

Se caracterizará el agregado fino (arena gruesa), siguiendo los procedimientos estandarizados en las Normas Técnicas Peruanas (NTP) vigentes.

A continuación se detallan los ensayos realizados al agregado fino:

**Tabla N° 9:** Ensayos realizados al agregado fino

Ensayo	Agregado fino	Norma técnica
Materiales más finos que pasan por el tamiz N°200 por lavado	x	NTP 400.018
Análisis granulométrico	x	NTP 400.012
Contenido de humedad	x	NTP 339.185
Densidad y absorción	x	NTP 400.022
Peso unitario suelto y compactado	x	NTP 400.017

Fuente y elaboración: Autor de tesis

### A. Materiales más finos que pasan por el tamiz N°200 por lavado (NTP 400.018)

#### Instrumentos

- Tamices (N° 16 y N°200)
- Recipiente
- Balanza
- Estufa

#### Procedimiento

- Seleccionar una cantidad adecuada de muestra y pesarla
- Colocar la muestra en un recipiente y adicionar agua para cubrirla.
- Agitar la muestra vigorosamente para llevar el material más fino a la suspensión.
- Verter el agua de lavado sobre los tamices, colocando el tamiz más grueso en la parte superior.
- Adicionar una segunda carga de agua al recipiente, y repetir la operación hasta que el agua de lavado esté clara.
- Retornar el material retenido en los tamices mediante un chorro de agua.
- Secar el agregado y determinar su peso
- Calcular la cantidad de material que pasa el tamiz N°200:

$$A = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \times 100$$

Donde:

A = Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz N°200 (%)

P<sub>1</sub> = Peso de la muestra original (gr)

P<sub>2</sub> = Peso seco de la muestra ensayada (gr)

**Tabla N°10.** FORMATO. Materiales más finos que pasan tamiz N°200

MATERIALES MAS FINOS QUE PASAN TAMIZ N°200	
N° de muestra	Agregado fino
M1	
M2	
M3	
Promedio	

Fuente y elaboración: Autor de tesis

## B. Análisis Granulométrico (NTP 400.012)

### Instrumentos

- Balanza
- Tamices (3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)
- Horno

### Procedimiento

- Utilizar la muestra en seco ensayada de conformidad con la NTP 400.018.
- Encajar los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo (desde la 3/8" hasta la N°100).
- Colocar la muestra sobre el tamiz superior.
- Agitar los tamices manualmente por un periodo suficiente.
- Determinar el peso de lo contenido en cada tamiz.
- Calcular el módulo de fineza, mediante la siguiente fórmula:

$$Mf = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado en las mallas } N^{\circ} 4,8,16,30,50,100}{100}$$

**Tabla N° 11:** FORMATO. Análisis granulométrico de agregado fino

Tamiz	Abertura (mm)	P. malla (gr.)	P. malla +muestra (gr.)	Peso retenido (gr.)	% P. retenido	% P. Retenido acumulado	% Pasa
3/8							
N4							
N8							
N16							
N30							
N50							
N100							
N200							
FONDO							
<b>Módulo de finura:</b>							
<b>Tamaño máximo:</b>							

Fuente y elaboración: Autor de tesis

### C. Contenido de humedad (NTP 339.185)

#### Instrumentos

- Balanza
- Un horno
- Recipiente para la muestra
- Una espátula

#### Procedimiento

- Seleccionar una muestra de arena y pesarla
- Secar la muestra en el recipiente por medio del horno.
- Determinar el peso de la muestra seca
- Calcular el contenido de humedad mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{100 \times (W - D)}{D}$$

Donde:

P = Contenido total de humedad (%)

W = Peso de la muestra húmeda (gr)

D = Peso de la muestra seca (gr)

**Tabla N° 12:** FORMATO. Contenido de humedad

CONTENIDO DE HUMEDAD	
N° de muestra	Agregado fino

Fuente y elaboración: Autor de tesis

### D. Peso unitario suelto y compactado (NTP 400.017)

#### Instrumentos

- Balanza
- Recipiente de medida
- Pala
- Varilla de apisonado

#### Procedimiento

- Seleccionar una muestra de agregado fino y secarlo en una estufa.
- Determinar el peso del recipiente vacío.

- Para determinar el P.U.S llenar el recipiente con el agregado hasta el reboce por medio de una pala. En el caso del P.U.C llenar el recipiente de medida con tres capas de agregado, las cuales, serán agregadas progresivamente y apisonadas con la varilla mediante 25 golpes cada una.
- Nivelar la superficie del agregado con los dedos o una espátula.
- Determinar el peso del recipiente más su contenido.
- Calcular el peso unitario suelto mediante la siguiente fórmula:

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M = Peso unitario del agregado ( $kg/m^3$ )

G = Peso del recipiente de medida más el agregado (kg)

T = Peso del recipiente de medida (kg)

V = Volumen de la medida ( $m^3$ )

**Tabla N° 13:** FORMATO. Peso unitario suelto y compactado

Muestra	Peso Unitario suelto ( $kg/m^3$ )	Peso unitario compactado ( $kg/m^3$ )
M1		
M2		
M3		
Promedio		

Fuente y elaboración: Autor de tesis

### **E. Densidad y absorción del agregado fino (NTP 400.022)**

#### Instrumentos

- Balanza
- Picnómetro de  $500\text{ cm}^3$
- Molde cónico
- Barra compactadora de metal
- Estufa

#### Procedimiento

- Colocar una muestra de ensayo en un recipiente y secarlo en la estufa.

- Sumergir la muestra en agua por un periodo de 24 h.
- Decantar el exceso de agua y extender la muestra sobre una superficie plana para secarla hasta su condición de saturada superficialmente seca.
- Llenar la muestra en un molde cónico hasta el tope, apisonando con 25 golpes mediante la barra compactadora y levantar el molde
- Si existe humedad libre, el cono de agregado fino mantendrá su forma, de lo contrario, tendrá una ligera caída al quitar el molde.
- De existir humedad libre, continuar el secado con agitación constante, hasta que la prueba indique que la muestra ha alcanzado la condición deseada.
- Llenar parcialmente el picnómetro con agua
- Introducir en el picnómetro, una muestra de 500 g de agregado fino saturado superficialmente seco.
- Agitar mecánicamente el picnómetro por vibración externa para eliminar las burbujas de aire visibles.
- Llenar el nivel de agua en el picnómetro con agua a su capacidad de calibración.
- Determinar el peso total del picnómetro, la muestra y el agua.
- Retirar el agregado fino del picnómetro y determinar su peso.
- Determinar el peso total del picnómetro lleno a su capacidad de calibración con agua.
- Calcular las densidades mediante las siguientes fórmulas:

Densidad de la masa secada al horno:

$$Densidad (OD) = 997.5 \times \left( \frac{A}{B + S - C} \right)$$

Densidad saturada superficialmente seca:

$$Densidad (SSD) = 997.5 \times \left( \frac{S}{(B + S - C)} \right)$$

Densidad aparente:

$$Densidad aparente (SSD) = 997.5 \times \left( \frac{A}{(B + A - C)} \right)$$

Absorción:

$$Absorción = 100 \times \left( \frac{S - A}{A} \right)$$

Donde:

A = Masa de la muestra seca al horno (gr)

B = Masa del picnómetro lleno de agua hasta la marca de calibración (gr).

C = Masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración (gr).

S = Masa de la muestra saturado superficialmente seca (gr)

**Tabla N° 14:** FORMATO. Peso específico y absorción

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN				
Descripción	Muestra			Promedio ( $kg/m^3$ )
	M1	M2	M3	
Densidad (secado al horno):				
Densidad (saturada superficialmente seca):				
Densidad aparente:				
Absorción:				

Fuente y elaboración: Autor de tesis

#### 3.5.4. Diseño de mezcla de mortero

Es importante señalar que no existe un método y/o procedimiento estandarizado para diseñar un mortero. Es por ello, que en la presente investigación, se tomó como referencia lo especificado en las normas ACI 318-08 y E070. Asimismo se hizo necesario, realizar una serie de ensayos en laboratorio “prueba-error” a manera de determinar, las proporciones optimas de agua y/o cemento que se requerirá para realizar un diseño de mezclas, a fin de que cumpla con la resistencia especificada.

El objetivo es realizar el diseño de mezclas para un mortero con una resistencia a compresión ( $f'c$ ) de  $210 kg/cm^2$ , a los 28 días de edad. Se realizaran un total de 4 diseños de mezclas de mortero, una de referencia (sin fibras), y las otras tres con consumo de fibra de 300, 600 y  $900 gr/m^3$ , manteniendo una relación a/c constante de 0.60. La tabla N°14 muestra la nomenclatura de cada diseño.

**Tabla N° 15:** Nomenclatura de cada diseño

Nomenclatura	Descripción	
	Tipo de mortero	Dosis ( $gr/m^3$ )
MP	Mortero patrón	0
MCF3	Mortero con fibra	300
MCF6	Mortero con fibra	600
MCF9	Mortero con fibra	900

Fuente y elaboración: Autor de tesis

### Procedimiento:

#### **PASO 1: Selección del $f'_c$ y $f'_{cr}$**

Se eligió una resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) de  $210 \text{ kg/cm}^2$  tomando como referencia lo especificado en la norma ACI 318-04 "Requisitos de reglamento para concreto estructural", la cual indica que el concreto para los elementos de confinamiento tendrá una resistencia a la compresión igual o mayor a  $175 \text{ kg/cm}^2$ .

Si:  $f'_c < 35 \text{ MPa}$  la resistencia a la compresión requerida se calculará mediante la tabla N°15:

**Tabla N° 16:** Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra

Resistencia especificada a la compresión, Mpa	Resistencia promedio requerida a la compresión, Mpa
$f'_c < 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5.1) y (5-2) $f'_{cr} = f'_c + 1.34S_s$ $f'_{cr} = f'_c + 2.33S_s - 35$
$f'_c > 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5.1) y (5-3) $f'_{cr} = f'_c + 1.34S_s$ $f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33S_s$

Fuente: ACI 318-08

Considerando una desviación estándar ( $S_s$ ) de 30.

Si:  $21 \text{ Mpa} < 35 \text{ Mpa}$ , la resistencia a la compresión requerida será igual a:

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34S_s$$

$$f'_{cr} = 250 \text{ kg/cm}^2$$

### PASO 2: Contenido de cemento:

Se recogió una cantidad de cemento de  $450 \text{ (kg/m}^3\text{)}$  de acuerdo a la dosificación obtenida por Albert Corominas en su tesis de grado titulada "Estudio relativo a la utilización de escorias de incineradora en morteros". En dicho estudio, la escoria absorbía de la mezcla aprox 2.91% de agua. Por lo tanto, estas condiciones se asemejaron a las del presente proyecto, debido a que la gradación ligeramente fina de la arena a utilizar, necesitó mayores cantidades de agua para la conformación del mortero.

### PASO 3: Selección de r a/c

Se seleccionó una relación a/c de 1:3 tomando como referencia lo especificado en la norma E070 "Albañilería", la cual clasifica a los morteros para fines estructurales, siendo P (morteros para la construcción de muros portantes) y NP (morteros para la construcción de muros no portantes). Esto se indica en la tabla N°16:

Tabla N° 17: Tipos de mortero

TIPOS DE MORTERO				
TIPO	COMPONENTES			USOS
	CEMENTO	CAL	ARENA	
P1	1	0 a 1/4	3 a 3 1/2	Muros portantes
P2	1	0 a 1/2	4 a 5	Muros portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros no portantes

Fuente y elaboración: Norma E070.

Según las pruebas en mezclas preliminares se determinó que con una relación a/c de 0.60 se da una mejor trabajabilidad en el mortero cuando se trabaja con una arena de módulo de finura ligeramente fino (2.3).

#### PASO 4: Volúmenes de los componentes

Tabla N° 18: Datos de los componentes

Material	Humedad (%)	Absorción (%)	MF	Peso específico ( $kg/m^3$ )			Peso Unitario ( $kg/m^3$ )	
				PE. masa	PE. sss	PE. apar	PUSS	PUSC
Cemento Tipo MS	-	-	-	2950	-	-	-	-
Agua	-	-	-	1000	-	-	-	-
Ag. fino	0.64	1.04%	2.3	2660	2690	2730	1670	1830

Fuente y elaboración: Autor de tesis

Volumen de cemento:

$$V_c = \frac{450 \text{ kg}}{2950 \text{ kg/m}^3} = 0.15 \text{ m}^3$$

Volumen de agua:

$$c = \frac{a}{r} \rightarrow 450 = \frac{a}{0.60} \rightarrow \text{Agua} = 270 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Vol. ag.} = \frac{270}{1000} = 0.27 \text{ m}^3$$

Volumen de agregado fino:

$$\text{Vol}_{AF} = 1 - \sum (V_c + V_{\text{agua}})$$

$$\text{Vol}_{AF} = 1 \text{ m}^3 - (0.15 \text{ m}^3 + 0.27 \text{ m}^3)$$

$$\text{Vol}_{AF} = 0.58 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso. AF} = 0.58 * 2660 = 1543 \text{ kg/m}^3$$

**Tabla N° 19:** Volúmenes de los componentes

<b>Materiales</b>	<b>Peso (<math>kg/m^3</math>)</b>	<b>Volumen (<math>m^3</math>)</b>
Cemento	450	0.15
Agua	270	0.27
Arena	1543	0.58
<b>PUC (<math>kg/m^3</math>)</b>	<b>2263</b>	<b>1.000</b>

Fuente y elaboración: Autor de tesis

#### PASO 5: Diseño de mezcla

- Aditivo SikaCem-1 plastificante en polvo:

Rendimiento: 1 bolsa de 1 kg por bolsa de cemento de 42.5 kg

$$\begin{array}{rcl}
 1 \text{ kg} & \text{_____} & 42.5 \text{ kg} \\
 \text{"x"} & \text{_____} & 450 \text{ kg} \\
 & & X = 10.6 \text{ kg}
 \end{array}$$

- Dosificaciones de fibra de polipropileno:
  - $300 \text{ gr}/m^3 = 0.3 \text{ kg}/m^3$
  - $600 \text{ gr}/m^3 = 0.6 \text{ kg}/m^3$
  - $900 \text{ gr}/m^3 = 0.9 \text{ kg}/m^3$

**Tabla N° 20:** Diseño de mezcla

<b>Material</b>	<b>Peso (<math>kg/m^3</math>)</b>				<b>%Material</b>
Cemento Antisalitre Tipo Ms	450	450	450	450	0.198
Agua	270	270	270	270	0.119
Arena gruesa	1543	1543	1543	1543	0.678
SikaCem-1 plastificante	10.6	10.6	10.6	10.6	0.0047
Fibra de polipropileno	0.00	0.3	0.6	0.9	
<b>PUCF</b>	<b>2274</b>	<b>2274</b>	<b>2274</b>	<b>2274</b>	

Fuente y elaboración: Autor de tesis

### 3.5.5. Ensayos del mortero en estado fresco

Al mortero en estado fresco se le realizaron los ensayos de asentamiento, temperatura y contracción plástica, de conformidad con las normas ASTM C143, ASTM C1064 y ASTM C1579-13 respectivamente.

#### A. Asentamiento (ASTM C143)

##### Instrumentos

- Molde con forma truncado
- Un cucharón
- Varilla
- Mezcla de concreto uniforme fresco
- Cinta métrica
- Bandeja

##### Procedimiento

- Uniformizar la mezcla con el cucharón.
- Humedecer el molde y colocarlo sobre una bandeja húmeda. La sección de diámetro inferior debe estar en la parte superior.
- Sujetar bien el molde presionando con los pies las abrazaderas fijados en la base del molde.
- Verter la mezcla hasta llenar aprox. 1/3 del volumen del molde.
- Varillar la primera capa con 25 golpes.
- Verter concreto nuevamente hasta llenar 2/3 del volumen del cono y varillar de nuevo con 25 golpes a través de esta capa, de tal forma que los golpes apenas penetren la capa anterior.
- Llenar y varillar la última capa superior con 25 capas, para esta última capa, amontonar el concreto sobre el molde antes de empezar a varillar.
- Enrasar la superficie del molde mediante un movimiento simultaneo de rodado con la varilla compactadora.
- Retirar el molde, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical.
- Inmediatamente mida el revenimiento, determinando la diferencia vertical entre la altura de la parte superior del molde y el centro del desplazamiento en la superficie del cono de concreto revenido. Hacer uso de una cinta métrica.

**Tabla N° 21: FORMATO. Asentamiento**

Dosis ( $gr/m^3$ )	Muestra	Slump (pulg)	Slump (mm)	Promedio Slump (mm)	Variación Slump (%)	Reducción slump (%)
-----------------------	---------	-----------------	---------------	---------------------------	---------------------------	---------------------------

Fuente y elaboración: Autor de tesis

## B. Temperatura (ASTM C1064)

### Instrumentos

- Recipiente
- Termómetro

### Procedimiento

- Colocar el termómetro en la mezcla del concreto fresco de modo que el termómetro este sumergido al menos 75 mm.
- Dejar el termómetro en la mezcla de concreto recién mezclado por un periodo de 2 minutos hasta que la lectura de la temperatura se estabilice.
- Informar la temperatura del concreto fresco aproximando al 0,5 °C más cercano.

**Tabla N° 22: FORMATO. Temperatura**

Identificación	Dosis de fibra ( $gr/m^3$ )	Temperatura (C°)
----------------	--------------------------------	---------------------

Fuente y elaboración: Autor de tesis

## C. Evaluación de fisuras por contracción plástica en campo (ASTM C1579-13).

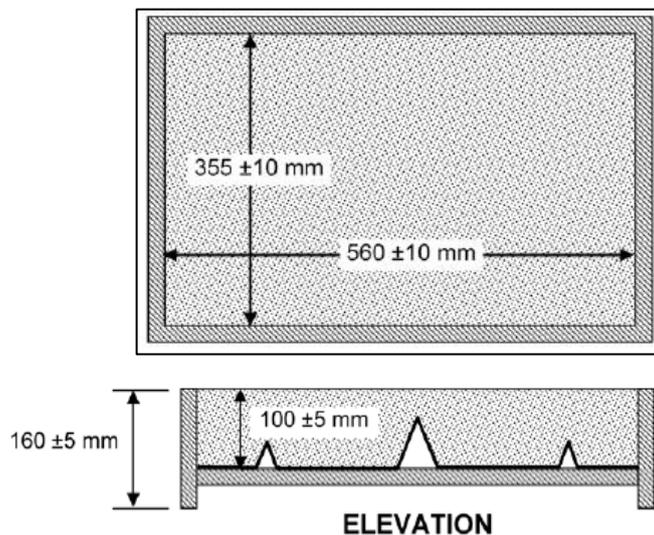
Con este ensayo, se evaluó el potencial de fisuración, mediante el registro de inicio de aparición de cada fisura y su desarrollo a través del tiempo.

El ensayo se realizó con los parámetros ambientales de la ciudad de Trujillo del mes de febrero del año 2018. Se midió la temperatura ambiental mediante la aplicación AccuWeather. Asimismo la temperatura del concreto luego de llenado el mortero en el panel rectangular para el inicio del ensayo.

Las medidas del panel rectangular fueron de 360 mm x 560 mm y 110 mm, tomando como referencia la norma ASTM C 1579-13. Este panel posee dos resaltes perpendiculares al eje longitudinal de  $32 + 1$  mm que restringen el acortamiento del concreto en la zona inferior y un inductor de grietas de  $63+5$  mm que aumenta las tensiones en la zona superior del elemento en esa zona.

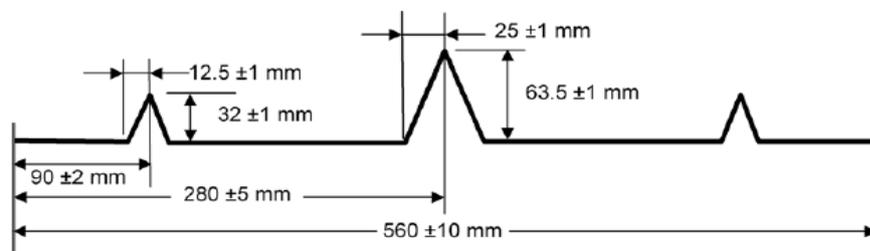
Para medir las fisuras se utilizó un medidor de fisuras (fisurómetro), una lupa y una regla.

**Figura N°7:** Vista en planta y elevación del panel rectangular



Fuente: ASTM C1579-13.

**Figura N° 8:** Dimensiones de la elevación del panel rectangular



Fuente: ASTM C1579-13

### Procedimiento

- Llenar el molde en una capa y compactar con la varilla.
- Golpear con el mazo los lados del molde de 10 a 15 veces.
- Alisar y terminar la superficie del concreto.
- Registrar la temperatura del concreto.
- Registro de parámetros externos (temperatura ambiental).
- Registrar la hora de colocado en el ambiente controlado.
- Registrar el tiempo de aparición de cada fisura y llevar el control de su propagación, con un tiempo de 15 minutos entre cada inspección.
- Medir la longitud y ancho de la fisura con una regla y un fisurómetro respectivamente (para evitar posibles efectos de borde, no se midió los anchos de las grietas dentro de los 25 mm de los bordes de los paneles).
- Se controla hasta que no se presenten más fisuras o las existentes ya no se desarrollen más.
- Calcular la relación de reducción de grietas (the crack reduction ratio) utilizando la siguiente ecuación:

$$CRR = \left[ 1 - \frac{\text{Anchura media de la grieta del mortero reforzado con fibra}}{\text{Anchura media de la grieta del mortero patrón}} \right] \times 100\%$$

### **3.5.6. Ensayos del mortero en estado endurecido**

Al mortero endurecido se le realizaron los ensayos de compresión y flexión, de acuerdo con los métodos ASTM C109 y C293 respectivamente.

#### **A. Ensayo de resistencia a la compresión (ASTM C109)**

##### Equipo

- Balanza electrónica
- Probetas graduadas de vidrio
- Moldes de especímenes
- Mezcladora mecánica, paleta y tazón de mezclado.
- Apisonador
- Espátula

- Máquina de ensayo

#### Procedimiento

- Preparar los moldes de los especímenes aplicando un recubrimiento delgado de un desencofrante (aceite) a las caras interiores del molde.
- Colocar una capa de mortero aprox. de 25 mm en todos los compartimientos del cubo.
- Apisonar el mortero en cada compartimiento cúbico 32 veces en aprox 10 segundos en 4 rondas, cada ronda debe consistir en ocho golpes adjuntos sobre la superficie del espécimen.
- Nivelar el mortero pasando el cano recto de la espátula sobre la longitud del molde
- Colocar los especímenes de ensayo en un gabinete húmedo desde 20 a 72 h con sus superficies superiores expuestas al aire húmedo.
- Sumergir los especímenes en agua saturada de cal en tanques de almacenaje.
- Ensayar los especímenes a las edades de ensayo requeridas, colocando cuidadosamente el espécimen en la máquina de ensayo de bajo del centro del bloque del apoyo superior y aplicando la carga a las caras del espécimen.
- Calcular la resistencia a la compresión mediante la siguiente fórmula:

$$f_m = \frac{P}{A}$$

Donde:

F<sub>m</sub> = Resistencia a la compresión (MPa o lb/pulg<sup>2</sup>)

P = Carga total máxima (N o lb)

A = Área de la superficie cargada (mm<sup>2</sup> o pulg<sup>2</sup>)

**Tabla N° 23: FORMATO.** Resistencia a la compresión

Dosis ( $gr/m^3$ )	Muestra	Dimensiones ( $cm^2$ )		Área ( $cm^2$ )	Fuerza (kg)		R. compresión ( $kg/cm^2$ )	
		L	L		7 días	28 días	7 días	28 días

Fuente y elaboración: Autor de tesis

**Tabla N° 24: FORMATO.** Varianza, desviación estándar y coeficiente de variación para resistencia a la compresión

Dosis ( $gr/m^3$ )	Media ( $kg/cm^2$ )	Varianza	Desv. estándar	Coef. De variación (%)	Coef. de variación (1 s%) ASTM C109
-----------------------	------------------------	----------	----------------	---------------------------	--

Fuente y elaboración: Autor de tesis

## B. Ensayo de resistencia a la flexión (ASTM C293)

### Equipo

- Máquina de ensayo

### Procedimiento

- Marcar con un plumón la parte central de la viga y otras dos líneas más, una en cada lado con espacio de 5 cm desde la parte central, para poder centrar la viga en los bloques de soporte de la máquina de ensayo.
- Colocar un usb en la máquina de ensayo para que guarde automáticamente los valores obtenidos por cada probeta.
- Aplicar una carga en el punto medio a una velocidad constante de 0.10 kn/s desde el inicio hasta que se produjo la rotura de la probeta.
- Calcular el módulo de rotura con la siguiente fórmula:

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

Donde:

R= Módulo de ruptura ( $MPa$  ó  $lb/pulg^2$ )

P= Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo (N ó lbf)

L= Luz entre soportes (mm ó pulg).

b= Ancho promedio del espécimen en la fractura (mm ó pulg).

d= Espesor promedio del espécimen en la fractura (mm ó pulg).

**Tabla N° 25: FORMATO.** Resistencia a la flexión

Dosis ( $gr/m^3$ )	Muestra	Dimensiones (mm)			Fuerza (N)		R. flexión ( $N/mm^2$ )		R. flexión ( $kg/cm^2$ )	
		B	D	L	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	28 días

Fuente y elaboración: Autor de tesis

**Tabla N° 26: FORMATO.** Varianza, desviación estándar y coeficiente de variación de resistencia a la flexión.

Dosis ( $gr/m^3$ )	Media ( $kg/cm^2$ )	Varianza	Desv. estándar	Coef. De variación (%)	Coef. de variación (1 s%) ASTM C293
-----------------------	------------------------	----------	-------------------	------------------------------	--

Fuente y elaboración: Autor de tesis.

### C. Curado de especímenes de concreto (ASTM C192)

#### Procedimiento

- Desmoldar los especímenes al cabo de 20 + .4h después de moldeados
- Someter las probetas en una solución saturada de agua de cal a una temperatura de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- La saturación se puede obtener incorporando 2 gr de cal hidratada por litro de agua.

### 3.5.7. Análisis estadístico de resultados

#### a) Media aritmética

Se calcula como indica la fórmula siguiente:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde:

$\bar{X}$  = Media aritmética

$X_i$  = Representa cada dato en el conjunto.

n = Tamaño de la muestra

#### b) Varianza

Se calcula como lo indica la fórmula siguiente:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Donde:

$\sigma^2$  = Varianza

$X_i$  = Representa cada dato en el conjunto.

$\bar{X}$  = Media aritmética

n = Tamaño de la muestra

#### c) Desviación estándar

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\sigma}$$

Donde:

$\sigma$  = Varianza

#### d) Coeficiente de variación

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Cv = \frac{DS}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

Cv = Coeficiente de variación

$\bar{X}$  = Media aritmética

**e) Valores de dispersión en el control del concreto.**

Para la aceptación de los resultados obtenidos en los ensayos al mortero se utilizaron las tablas N°26 y tabla N°27, especificados en el ACI214R-11, considerando clase de operación: “Concreto en laboratorio”.

**Tabla N° 27:** Valores de dispersión total para el control del concreto.

DISPERSIÓN TOTAL					
CLASE DE OPERACIÓN	DESVIACIÓN ESTANDAR PARA DIFERENTES GRADOS DE CONTROL (kg/cm <sup>2</sup> )				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	SUFICIENTE	DEFICIENTE
Concreto en obra	<a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> a 49.2
Concreto en laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	>24.6

Fuente: ACI214R-11.

**Tabla N° 28:** Valores de dispersión entre testigos para el control del concreto

DISPERSIÓN ENTRE TESTIGOS					
CLASE DE OPERACIÓN	COEFICIENTE DE VARIACIÓN PARA DIFERENTES GRADOS DE CONTROL (%)				
	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	SUFICIENTE	DEFICIENTE
Concreto en obra	<a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	> a 6.0
Concreto en laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	>a 5.0

Fuente: ACI214R-11.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

### 4.1. Caracterización de la arena gruesa

En resumen, las propiedades físicas de la arena gruesa se muestran en la tabla N°29:

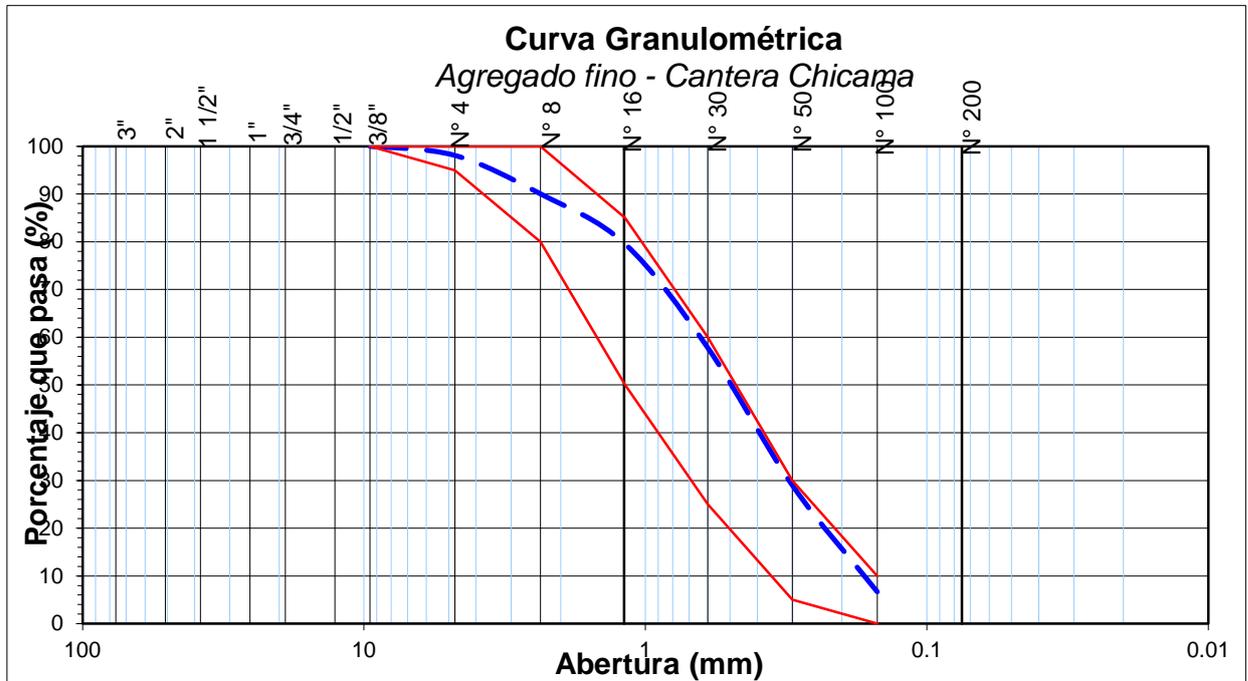
**Tabla N° 29:** Propiedades de la arena gruesa

Ensayo	Resultado	Norma de Ensayo	Rango NTP 400.037-14
Materiales más finos que pasan por el tamiz N°200 por lavado en agregados	4.24%	NTP 400.018	<5%
Análisis granulométrico (Módulo de finura)	2.3	NTP 400.012	2.3 – 3.1
Contenido de humedad	0.64 %	NTP 339.185	-
Peso unitario suelto	1670 $kg/m^3$	NTP 400.017	-
Peso unitario compactado	1830 $kg/m^3$	NTP 400.017	-
Peso específico	2660 $kg/m^3$	NTP 400.022	-
Absorción	1.04 %	NTP 400.022	-

Fuente y elaboración: Autor de tesis

En la figura N°9 se observa la curva granulométrica promedio de la arena gruesa y los límites mínimos y máximos para cada tamiz. . En la tabla N°30 se indican los valores en porcentaje del peso retenido de la arena gruesa en cada malla.

**Figura N° 9:** Curva granulométrica promedio de la arena gruesa



Fuente y elaboración: Autor de tesis

**Tabla N° 30:** Gradación del agregado fino

Abertura (mm)	% pasa (NTP 400.0037-14)		% pasa
	min	máx	
9.5 (3/8")	100	100	100.00
4.75 (N°4)	95	100	98.09
2.36 (N°8)	80	100	90.04
1.18 (N°16)	50	85	79.53
0.6 (N°30)	25	60	57.78
0.3 (N°50)	5	30	28.96
0.15 (N°100)	0	10	6.69

Fuente y elaboración: Autor de tesis

#### 4.2. Diseño de mezcla:

La tabla N°31, muestra la cantidad de materiales en kilogramos, que se utilizó para la elaboración de las probetas cúbicas, viguetas y paneles rectangulares.

##### Volúmenes de las probetas:

- Probetas cúbicas : 0.000125 m<sup>3</sup>
- Probetas rectangulares (viguetas) : 0.000256 m<sup>3</sup>
- Paneles rectangulares : 0.022176 m<sup>3</sup>

**Tabla N° 31:** Cantidad de materiales por elaboración de probeta (kg)

Elemento	Peso (kg/m <sup>3</sup> )	Cant. probeta cubica 50x50x50 mm (kg)	Cant. vigueta 160x40x40 mm (kg)	Cant. panel rectangular 560x360x110 mm (kg)
Cemento	450	0.056	0.115	9.979
Agua	270	0.034	0.069	5.988
Arena	1543	0.193	0.395	34.195
Plastificante	10.6	0.001	0.003	0.23
Fibra de polipropileno	0.3	0.0000375	0.0000768	0.0066528
	0.6	0.0000750	0.0001536	0.0133056
	0.9	0.0001125	0.0002304	0.0199584
<b>TOTAL</b>		0.284	0.582	50.437

Fuente y elaboración: Autor de tesis

#### 4.3. Resultados del mortero en estado fresco

##### 4.3.1. Asentamiento

La tabla N° 32, resume los resultados de este ensayo:

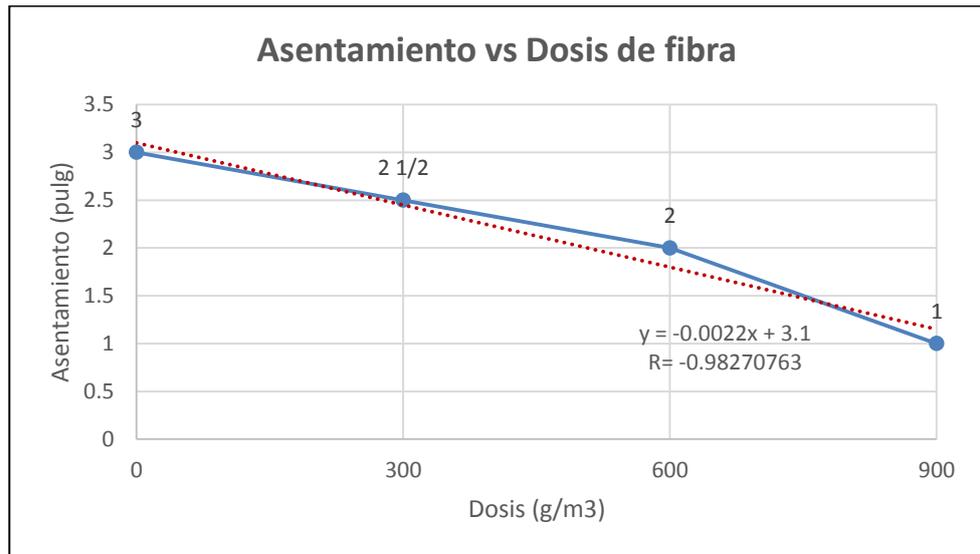
**Tabla N° 32:** Asentamientos obtenidos

Identificación	Dosis (gr/m <sup>3</sup> )	Asentamiento (pulg)	Asentamiento (mm)	Variación del asentamiento (%)	Reducción del asentamiento (%)
MP	0	3	76.2 mm	100	0
MCF3	300	2 1/2	63.5 mm	83	17
MCF6	600	2	50.8 mm	67	33
MCF9	900	1	25.4 mm	33	67

Fuente y elaboración: Autor de tesis. *Para mayor detalle revisar los anexos.*

La figura N°10 muestra el asentamiento del mortero vs dosis de fibra. Se puede observar que a mayores dosis de fibra el asentamiento disminuye, con respecto al mortero patrón.

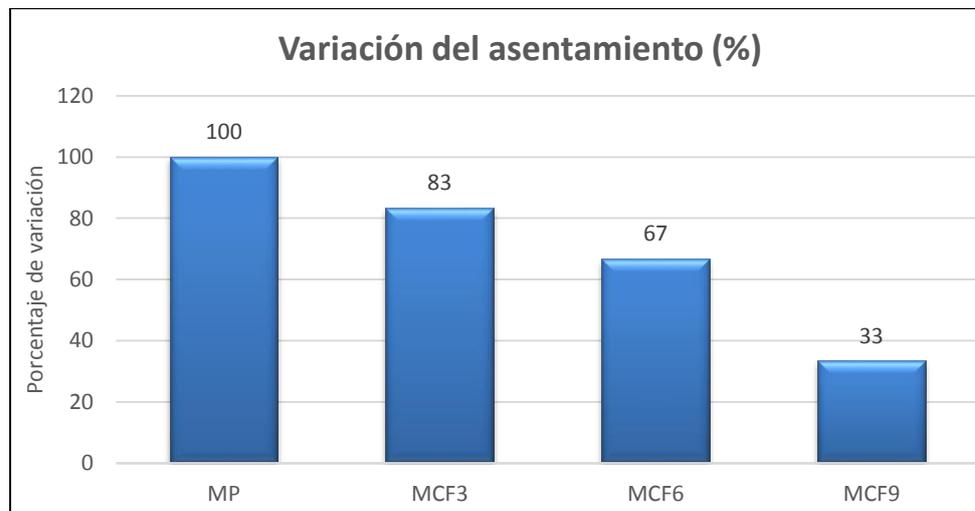
**Figura N° 10:** Asentamiento vs dosis de fibra



Fuente y elaboración: Autor de tesis

En la figura N°11 se aprecia la variación porcentual del asentamiento de cada muestra respecto al mortero patrón.

**Figura N° 11:** Variación porcentual del asentamiento



Fuente y elaboración: Autor de tesis

#### 4.3.2. Temperatura

La tabla N° 33, resume los resultados de este ensayo:

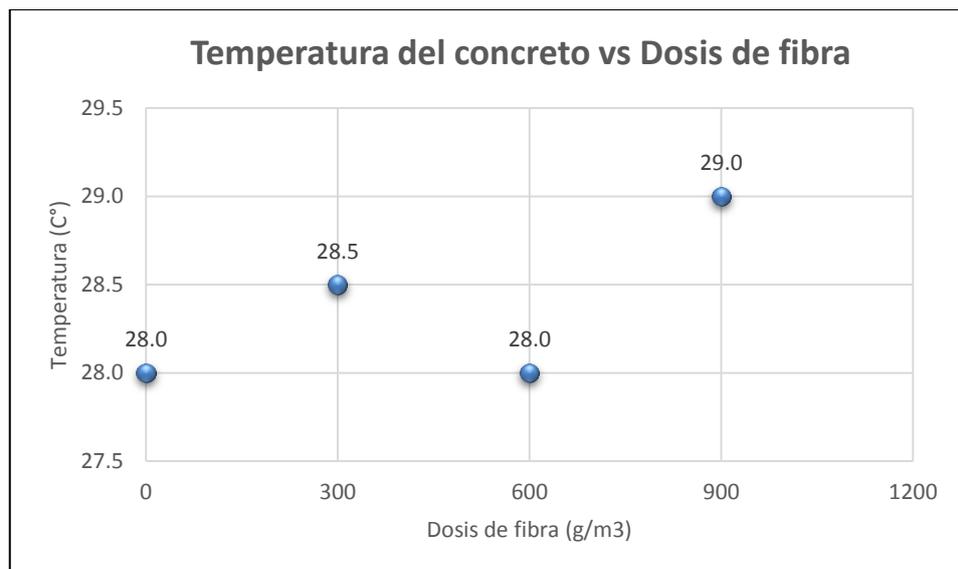
**Tabla N° 33:** Temperaturas obtenidas

Identificación	Dosis ( $g/m^3$ )	Temperatura (C°)
MP	0	28.0
MCF3	300	28.5
MCF6	600	28.0
MCF9	900	29.0

Fuente y elaboración: Autor de tesis. *Para mayor detalle revisar anexos.*

La figura N° 12 muestra la temperatura del mortero vs dosis de fibra.

**Figura N° 12:** Temperatura del mortero vs Dosis de fibra



Fuente y elaboración: Autor de tesis

#### 4.3.3. Contracción plástica

En este ensayo se han evaluado las fisuras generadas debido a la contracción plástica del mortero.

La tabla N° 34, resume los resultados de este ensayo:

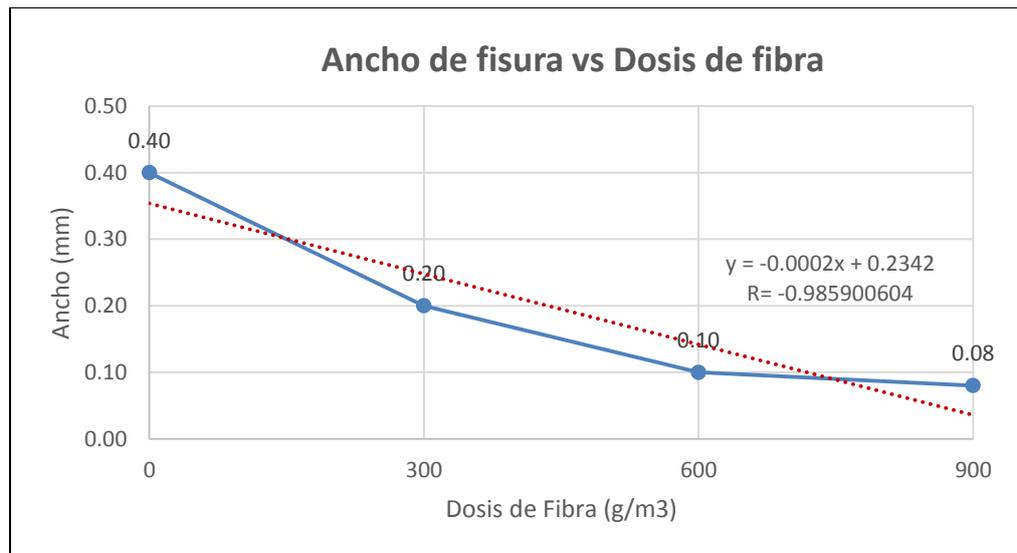
**Tabla N° 34:** Contracción plástica

Identificación	Dosis fibra ( $g/m^3$ )	N° de fisuras	Ancho prom. (mm)	Reducción de ancho (%)	Longitud prom. (cm)	Reducción de longitud (%)
MP	0	8	0.40	0.00	3.83	0
MCF3	300	4	0.20	50	3.23	15.67
MCF6	600	3	0.10	75	2.67	30.29
MCF9	900	2	0.08	80	2.05	46.48

Fuente y elaboración: Autor de tesis. *Para mayor detalle revisar los anexos*

La figura N° 13 muestra el ancho de fisura vs dosis de fibra. Se puede observar que a mayor dosificación de fibra, los anchos generados son menores.

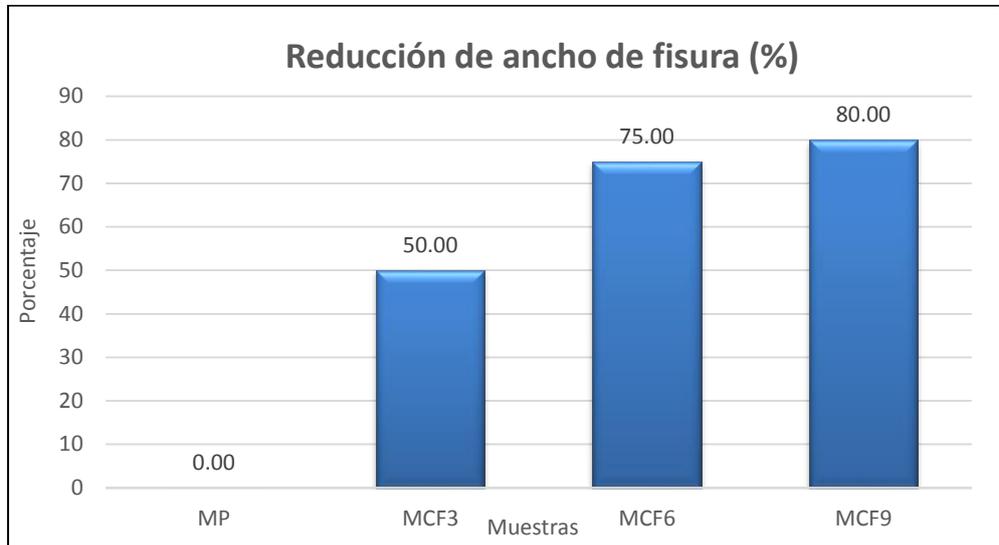
**Figura N° 13:** Ancho de fisura vs dosis de fibra



Fuente y elaboración: Autor de tesis

En la figura N°14 se puede apreciar la reducción porcentual de ancho de fisura por cada muestra, respecto al mortero patrón.

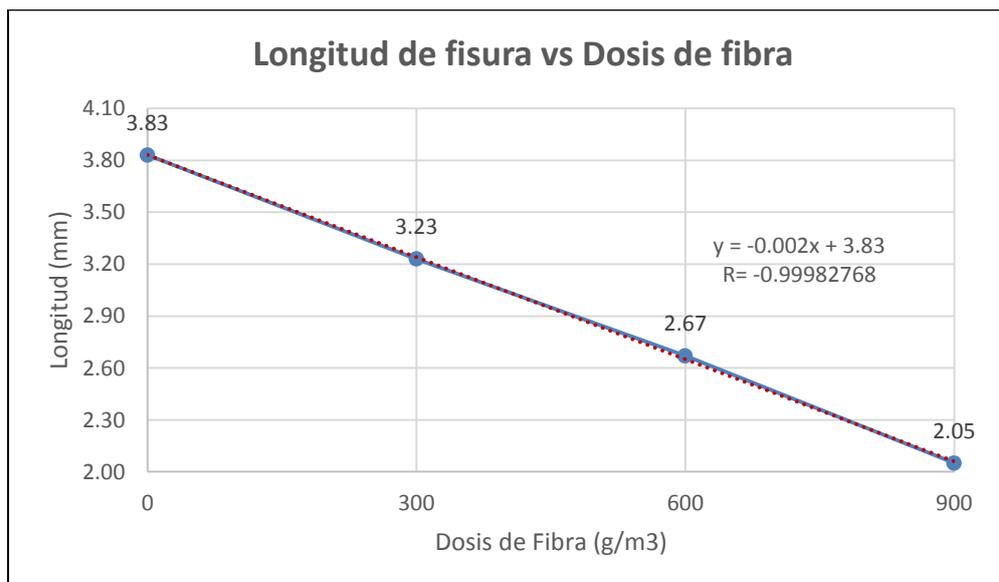
**Figura N° 14:** Reducción porcentual de ancho de fisura



Fuente y elaboración: Autor de tesis.

La figura N° 15 muestra el comportamiento de la longitud de fisura vs dosis de fibra. Se puede observar que a mayores dosificaciones de fibra, las longitudes de fisura disminuyen.

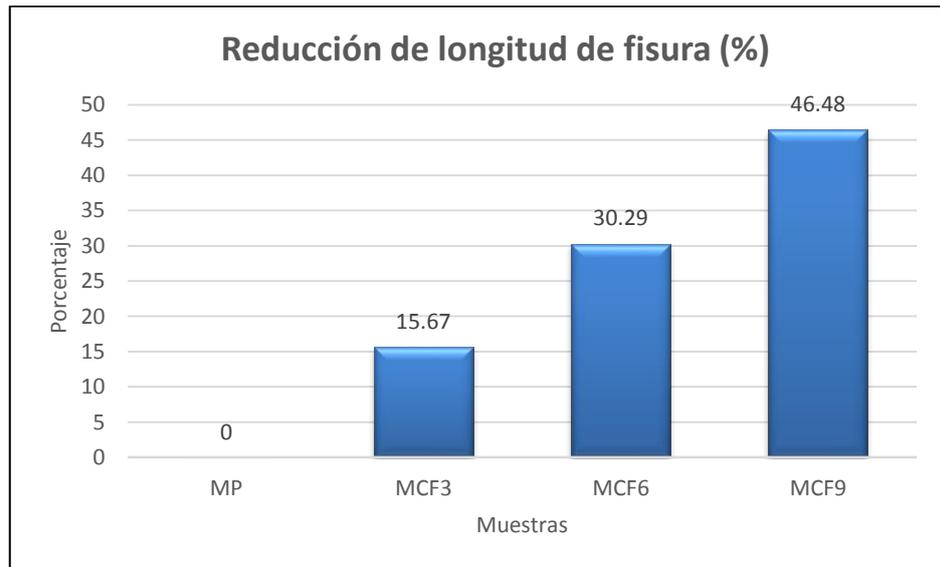
**Figura N° 15:** Longitud de fisura vs Dosis de fibra



Fuente y elaboración: Autor de tesis.

En la figura N° 16 se puede apreciar la reducción porcentual de la longitud de fisura por cada muestra, respecto al mortero patrón.

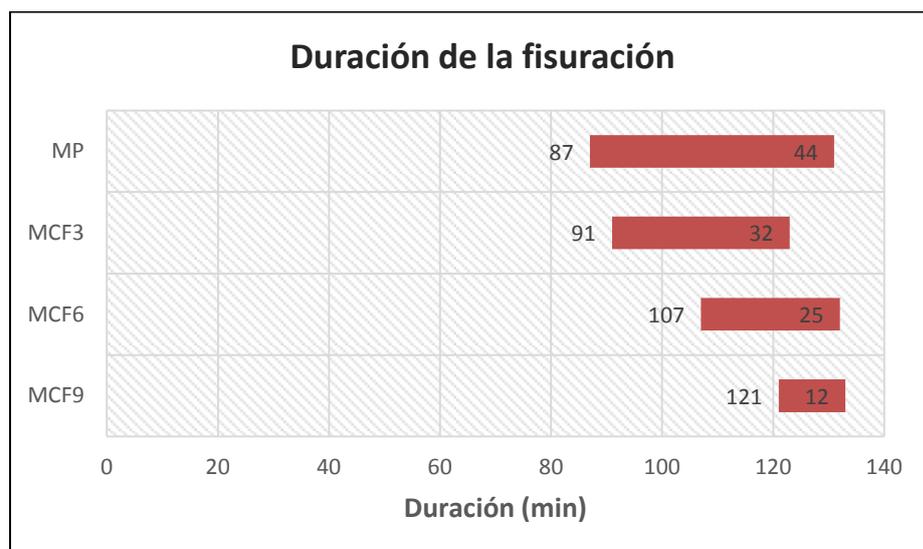
**Figura N° 16:** Reducción porcentual de longitud de fisura



Fuente y elaboración: Autor de tesis.

En la figura N°17 se puede apreciar el tiempo de aparición de las primeras fisuras por cada muestra, así como el tiempo que duró su propagación.

**Figura N° 17:** Duración de la fisuración



Fuente y elaboración: Autor de tesis.

#### 4.4. Resultados del mortero en estado endurecido

##### 4.4.1. Resistencia a la compresión

La tabla N° 35 resume los datos de este ensayo:

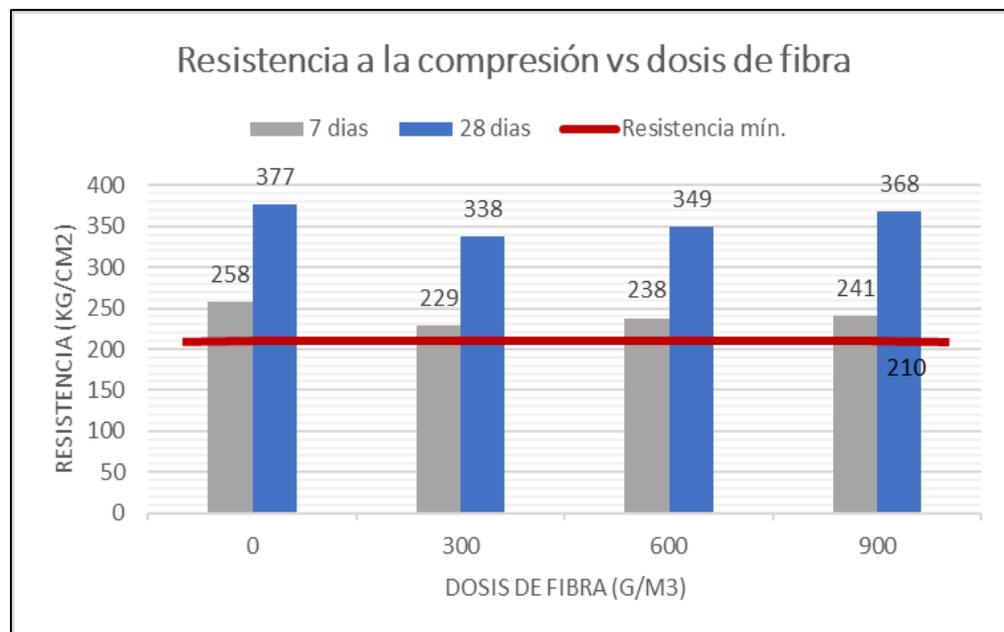
**Tabla N° 35:** Resistencia a la compresión

Identificación	Dosis ( $g/m^3$ )	Resistencia a la compresión ( $Kg/cm^2$ )	
		7 días	28 días
MP	0	258	377
MCF3	300	229	338
MCF6	600	238	349
MCF9	900	241	368

Fuente y elaboración: Autor de tesis. *Para mayor detalle, revisar los anexos.*

Las figuras N°18 y N°19 muestran el comportamiento de la resistencia a la compresión vs dosis de fibra.

**Figura N° 18:** Resistencia a la compresión vs dosis de fibra



Fuente y elaboración: Autor de tesis.

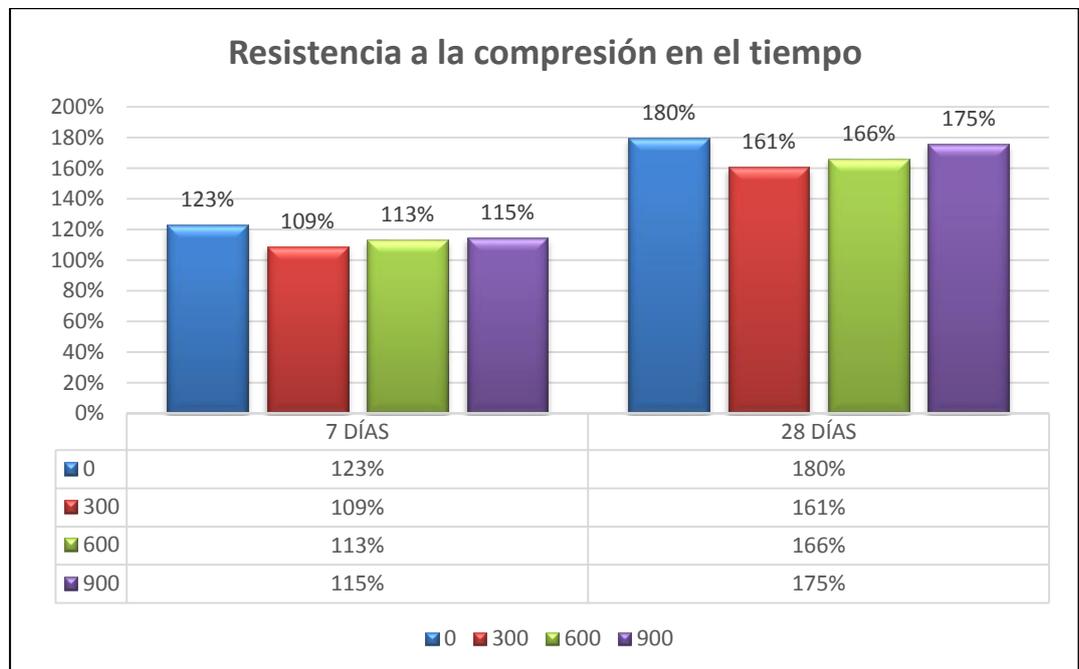
En la tabla N° 36 y figura N°19 se comparan las resistencias obtenidas en función del tiempo, entre las probetas cúbicas con fibra y sin fibra, los resultados son los siguientes:

**Tabla N° 36:** Resistencia en función del tiempo

<b>RESISTENCIA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO</b>									
Probetas cúbicas diseñadas para $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$									
EDAD	$0 \text{ g/m}^3$		$300 \text{ g/m}^3$		$600 \text{ g/m}^3$		$900 \text{ g/m}^3$		
	$\text{Kg/cm}^2$	%	$\text{Kg/cm}^2$	%	$\text{Kg/cm}^2$	%	$\text{Kg/cm}^2$	%	
7 días	258	123%	229	109%	238	113%	241	115%	
28 días	377	180%	338	161%	349	166%	368	175%	

Fuente y elaboración: Autor de tesis

**Figura N° 19:** Resistencia a la compresión en el tiempo



Fuente y elaboración: Autor de tesis

En la tabla N°37 se muestra los datos estadísticos de la compresión del mortero a los 7 y 28 días.

**Tabla N° 37:** Datos estadísticos de compresión de mortero

Dosis ( $gr/m^3$ )	Media ( $kg/cm^2$ )		Varianza		Desv. estándar		Coef. variación (%)		Coef. var (1 s%) ASTM C109	Prom Desv.	Prom Coef. Var.
	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	28 días			
0	258	377	22.37	22.24	5	5	1.835	1.250	3.8	4.75	1.6
300	229	338	28.38	22.94	5	5	2.328	1.418			
600	238	349	4.49	18.85	2	4	0.891	1.243			
900	241	368	22.32	48.10	5	7	1.963	1.882			

Fuente y elaboración: Autor de tesis

#### 4.4.2. Resistencia a la flexión

La tabla N° 38 resume los datos de este ensayo:

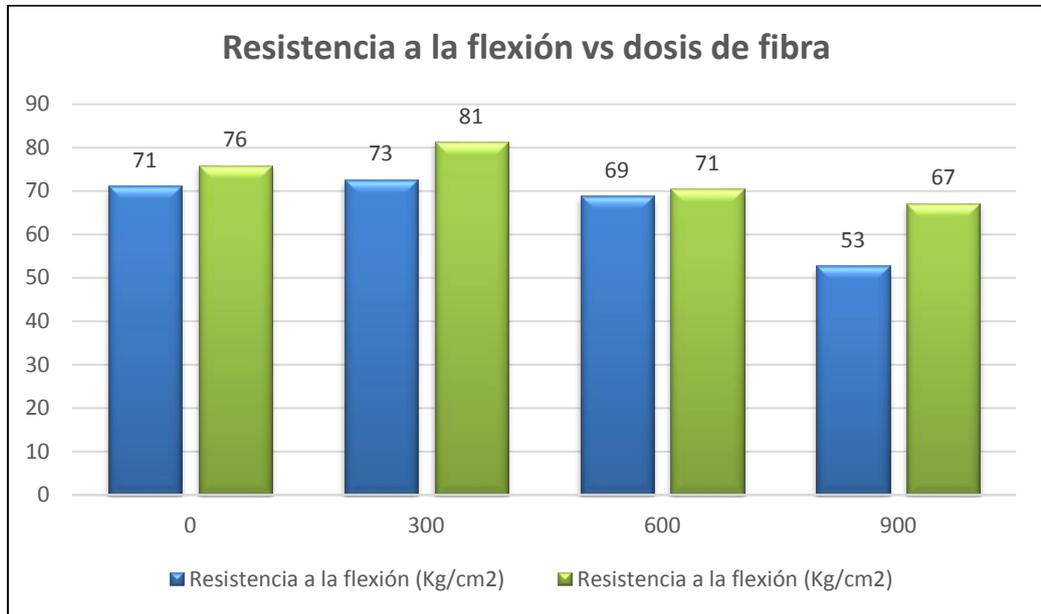
**Tabla N° 38:** Resistencia a la flexión

Dosis ( $g/m^3$ )	Resistencia a la flexión ( $Kg/cm^2$ )	
	7 días	28 días
0	71	76
300	73	81
600	69	71
900	53	67

Fuente y elaboración: Autor de tesis. *Para mayor detalle, revisar los anexos*

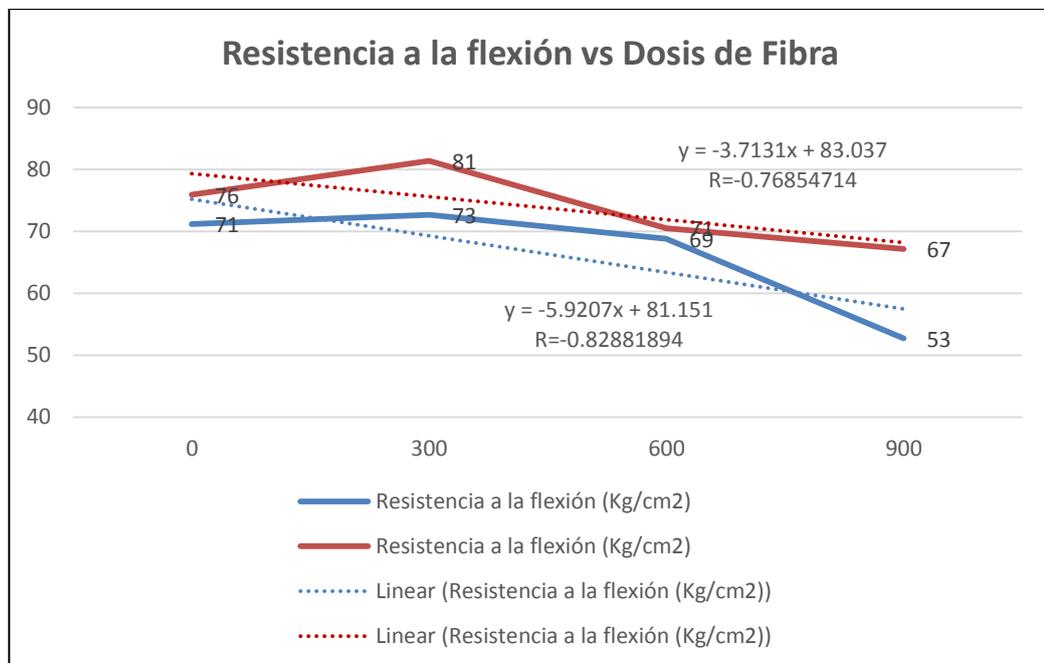
Las figuras N°20 y N°21 muestran el comportamiento de la resistencia a la flexión vs dosis de fibras.

**Figura N° 20:** Resistencia a la flexión vs dosis de fibra



Fuente y elaboración: Autor de tesis

**Figura N° 21:** Resistencia a la flexión vs dosis de fibra



Fuente y elaboración: Autor de tesis

En la tabla N° 39 se detalla la variación porcentual de la resistencia a la flexión, con respecto al mortero patrón.

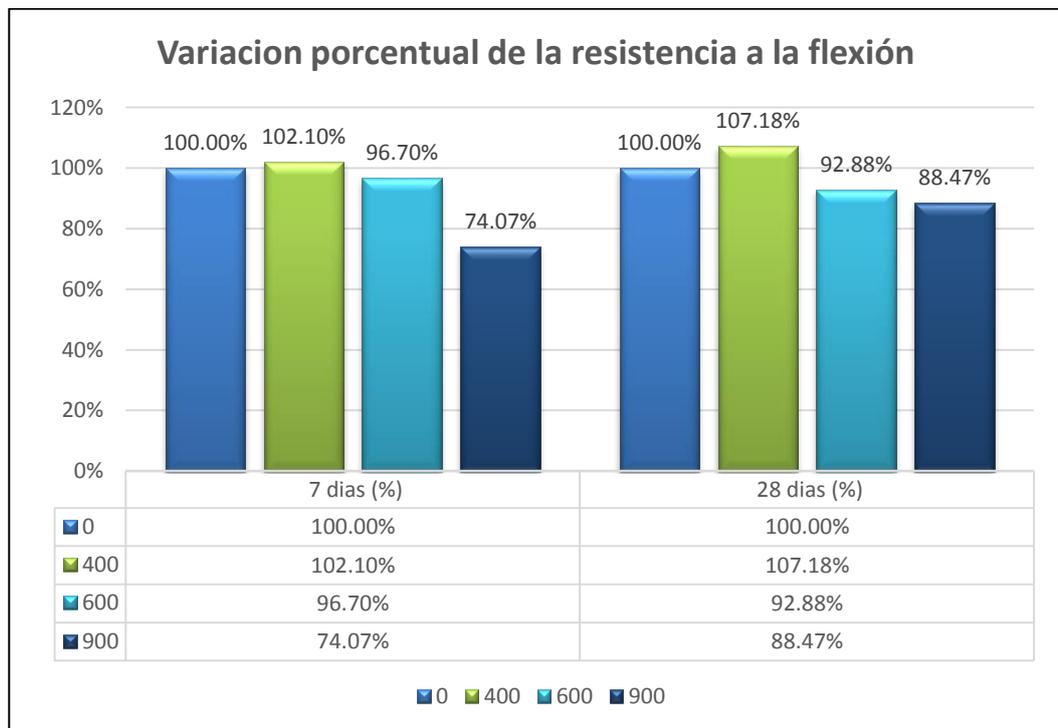
**Tabla N° 39:** Variación porcentual de resistencia a la flexión

Identificación	Dosis ( $g/m^3$ )	Variación f'c 7 días (%)	Variación f'c 28 días (%)
MP	0	100.00%	100.00%
MCF3	300	102.10%	107.18%
MCF6	600	96.70%	92.88%
MCF9	900	74.07%	88.47%

Fuente y elaboración: Autor de tesis

La figura N° 22 muestra la variación porcentual de la resistencia a la flexión por cada muestra, respecto al mortero patrón.

**Figura N° 22:** Variación porcentual de la resistencia a la flexión



Fuente y elaboración: Autor de tesis

En la tabla N°40 se muestra los datos estadísticos de la compresión del mortero a los 7 y 28 días.

**Tabla N° 40:** Datos estadísticos de la flexión de mortero

Dosis (gr/ m <sup>3</sup> )	Media (Kg/cm <sup>2</sup> )		Varianza		Desv. estándar		Coef. variación (%)		Coef. de variación (1 s%) ASTM C293	Prom. Desv. estándar	Prom. Coef Var.
	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	28 días			
0	71	76	4.01	5.69	2	2	2.813	3.142			
300	73	81	2.59	3.71	2	2	2.217	2.366			
600	69	71	8.13	2.84	3	2	4.141	2.391	4.40%	3	3.25
900	53	67	7.52	6.31	3	3	5.201	3.739			

Fuente y elaboración: Autor de tesis

#### 4.5. Validación de la hipótesis mediante análisis estadístico

Se validó las hipótesis mediante un contraste entre las tres cantidades (300 g, 600 g, 900 g) de fibra de polipropileno en las propiedades del mortero en estado endurecido (resistencia a la compresión y flexión), a través de la prueba de Bonferroni. Para ello, se debe cumplir con dos criterios:

- **Criterio de normalidad:** La variable cuantitativa debe distribuirse según la Ley Normal en cada uno de los grupos que se comparan.
- **Criterio de homocedasticidad:** Las varianzas de la distribución de la variable cuantitativa en las poblaciones de las que provienen los grupos que se comparan deben ser homogéneas.

##### a. Variable respuesta: Resistencia a la compresión

###### ✓ Prueba de normalidad

Para corroborar que la variable se distribuyó normalmente se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk. Se introdujeron los datos al software estadístico IBM SPSS, obteniéndose los siguientes resultados

Tabla N° 41: Prueba de normalidad

	Cant. de fibra	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístic	gl	Sig.	Estadístic	gl	Sig.
Resistencia	300	,353	3	.	,824	3	,174
compresión	600	,292	3	.	,923	3	,463
	900	,219	3	.	,987	3	,780

Fuente y elaboración: Autor de tesis

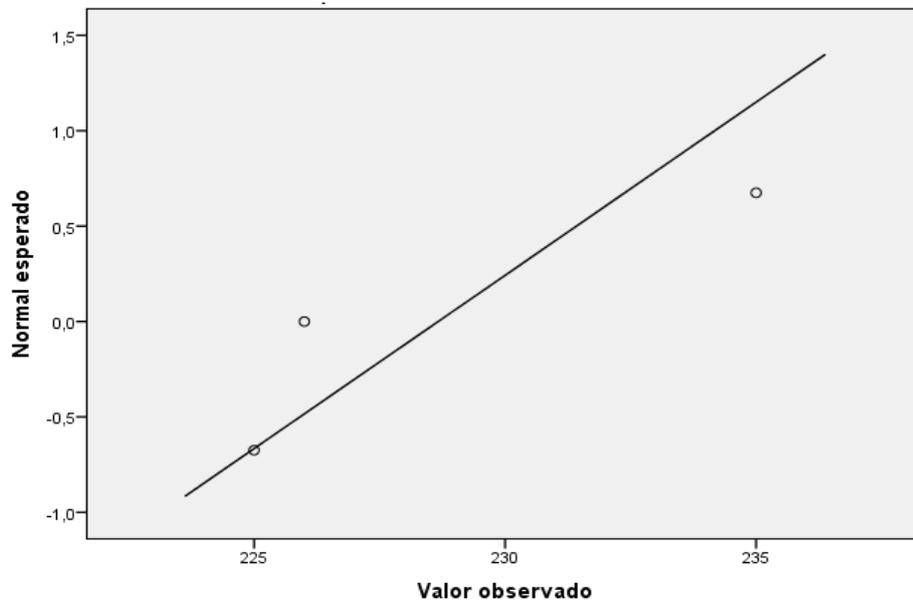
Hipótesis nula ( $H_0$ ) = La variable sigue una distribución normal.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ) = La variable no sigue una distribución normal.

Se observa la significación estadística de estos contrastes, asumiendo la normalidad de la distribución si en los tres grupos el nivel de "p" es no significativo ( $p > 0,05$ ). Por lo tanto se acepta la hipótesis nula, asumiendo la normalidad de la variable cuantitativa "Resistencia a la compresión" en los grupos.

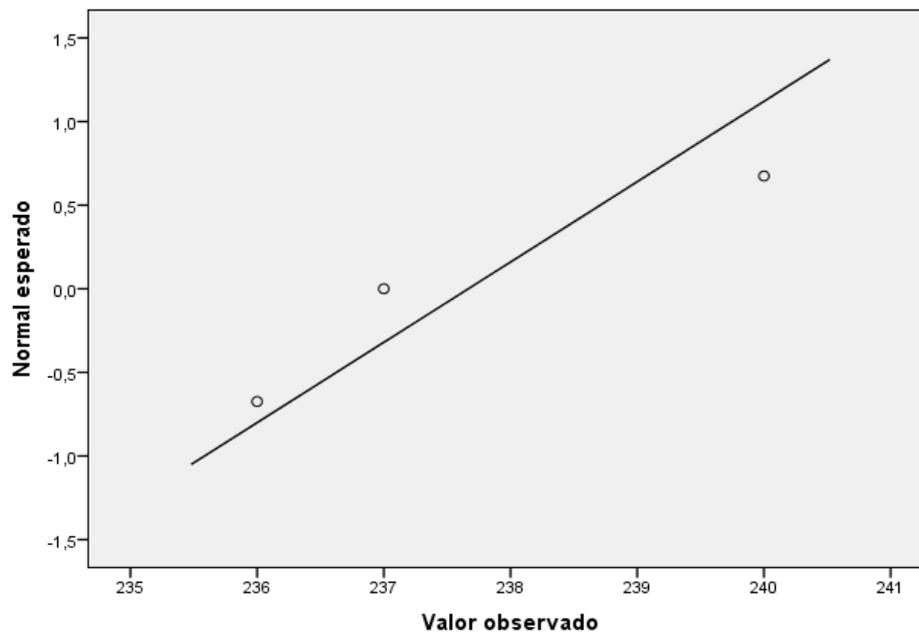
A continuación, se grafica la distribución normal para la variable “Resistencia a la compresión” para cada cantidad de fibra (300 g, 600 g, 900 g).

**Figura N° 23:** Gráfico Q-Q normal de resistencia a la compresión con 300  $gr/m^3$



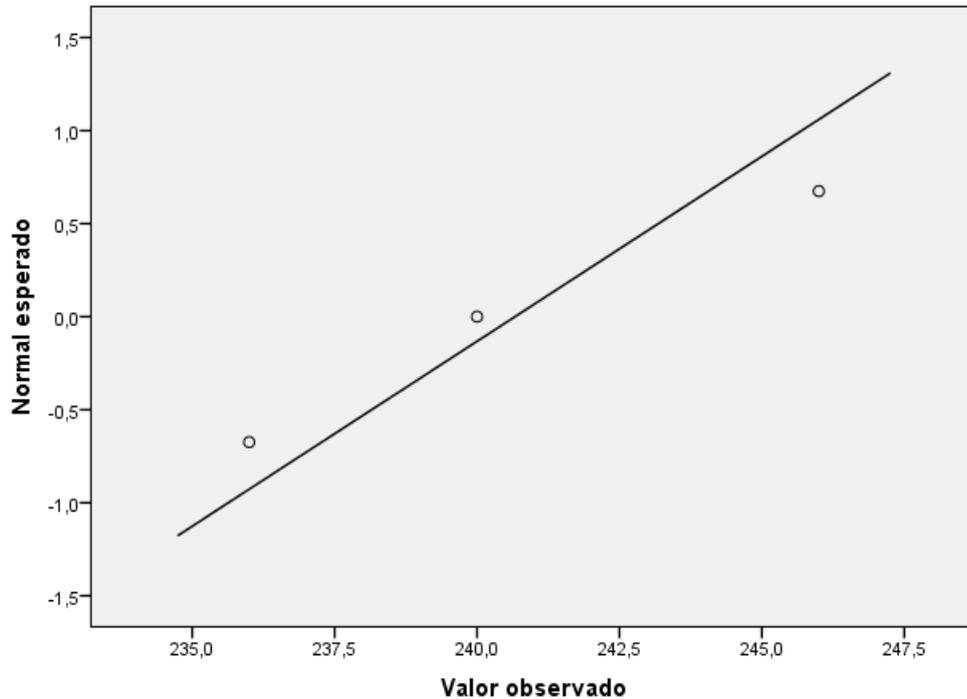
Fuente y elaboración: Autor de tesis

**Figura N° 24:** Gráfico Q-Q normal de resistencia a la compresión con 600  $gr/m^3$



Fuente y elaboración: Autor de tesis

**Figura N° 25:** Gráfico Q-Q normal de resistencia a la flexión con 900 gr/m<sup>3</sup>



Fuente y elaboración: Autor de tesis

✓ **Prueba de homocedasticidad**

Para la prueba de homocedasticidad (igualdad de varianzas) se usó la prueba de Levene mediante el programa IBM SPSS, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla N° 42:** Prueba de homogeneidad de varianza de la variable resistencia a la compresión

**Resistencia a la compresión**

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
1,625	2	6	,273

Fuente y elaboración: Autor de tesis

Hipótesis nula ( $H_0$ ) = La variable tienen igualdad de varianzas poblacionales.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ) = La variable no tiene igualdad de varianzas poblacionales.

El programa aportó una significación estadística, o valor “p” asociado a la hipótesis nula”. Cuando ese valor “p” es no significativo ( $p > 0,05$ ) se puede confirmar la homogeneidad de varianzas. En este caso el valor para “p” fue de 0.273, por lo tanto se aceptó la hipótesis nula.

✓ **Anova**

Se realiza el análisis de varianzas (ANOVA), el cual permite contrastar la hipótesis nula ( $H_0$ ) de que “No existen diferencias significativas entre los grupos”

**Tabla N° 43:** Prueba de ANOVA para la variable resistencia a la compresión

**Resistencia a la compresión**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Entre grupos</b>	234,000	2	117,000	5,850	,039
<b>Dentro de grupos</b>	120,000	6	20,000		
<b>Total</b>	354,000	8			

Fuente y elaboración: Autor de tesis

Hipótesis nula ( $H_0$ ) = No existen diferencias significativas entre los grupos.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ) = Existen diferencias significativas entre los grupos.

Para llevar a cabo el contraste, el programa aportó la distribución F de Snedecor el cual es de 5,850 y una significación estadística (“p”) de 0.039 (significativo). Por lo tanto, se rechazó la hipótesis nula, y se aceptó la hipótesis alternativa, la cual dice que “Si existen diferencias significativas entre los grupos”.

✓ **Post Hoc**

Cumpliendo los criterios de normalidad y homocedasticidad, se realizó la prueba estadística de Bonferroni, a través del programa IBM SPSS.

**Tabla N° 44:** Comparación múltiple para la variable resistencia a la compresión

Variable dependiente: Resistencia a la compresión

Bonferroni

(I) Cantidad de fibra	(J) Cantidad de fibra	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
300,00	600,00	-9,00000	3,65148	,146	-21,0041	3,0041
	900,00	-12,00000	3,65148	,050	-24,0041	,0041
600,00	300,00	9,00000	3,65148	,146	-3,0041	21,0041
	900,00	-3,00000	3,65148	1,000	-15,0041	9,0041
900,00	300,00	12,00000	3,65148	,050	-0,0041	24,0041
	600,00	3,00000	3,65148	1,000	-9,0041	15,0041

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

En el cuadro de comparaciones múltiples vemos que cada grupo de resistencia a la compresión de acuerdo con el porcentaje de fibra de polipropileno se compara con los otros dos, obteniéndose en cada contraste el valor "p" asociado, que en los casos de 300 g y 900 g de fibra es significativo, como ya sabíamos que iba a suceder por el análisis realizado. Ante esta situación, al encontrar la diferencia de medias significativa y al pretender aumentar la resistencia a la compresión, podemos concluir que **cuando se aplica al mortero, 900 gr/m<sup>3</sup> de fibra de polipropileno se obtiene una mejor respuesta en la resistencia a la compresión.**

#### b. Variable respuesta: Resistencia a la flexión

##### ✓ Prueba de normalidad

Para corroborar que la variable se distribuyó normalmente se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk. Se introdujeron los datos al software estadístico IBM SPSS, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla N° 45:** Prueba de normalidad

	Cantida d de fibra	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístic o	gl	Sig.	Estadístic o	gl	Sig.
Resistencia	300	,292	3	.	,923	3	,463
a la flexión	600	,253	3	.	,964	3	,637
	900	,219	3	.	,987	3	,780

Fuente y elaboración: Autor de tesis

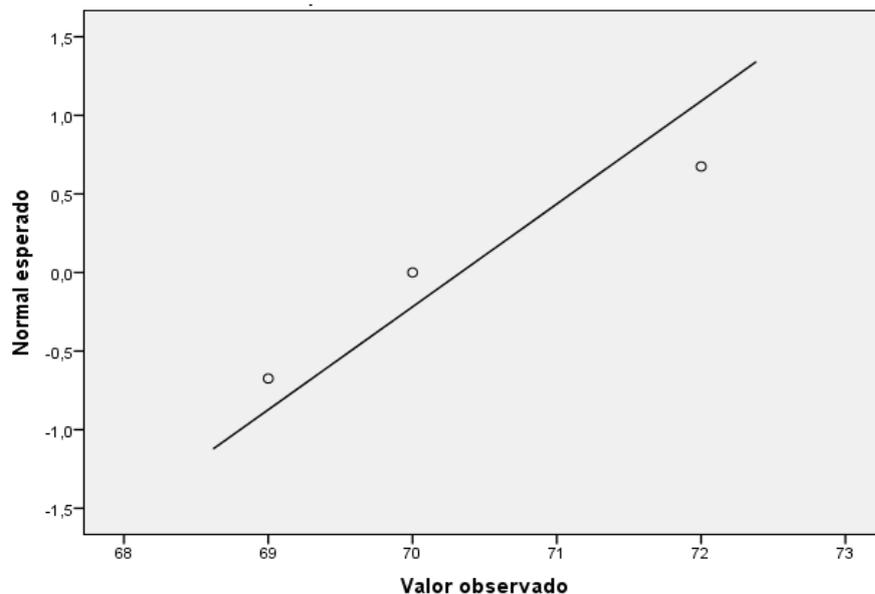
Hipótesis nula ( $H_0$ ) = La variable sigue una distribución normal.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ) = La variable no sigue una distribución normal.

Se observa la significación estadística de estos contrastes, asumiendo la normalidad de la distribución si en los tres grupos el nivel de “p” es no significativo ( $p > 0,05$ ). Por lo tanto se acepta la hipótesis nula, asumiendo la normalidad de la variable cuantitativa “Resistencia a la flexión” en los grupos.

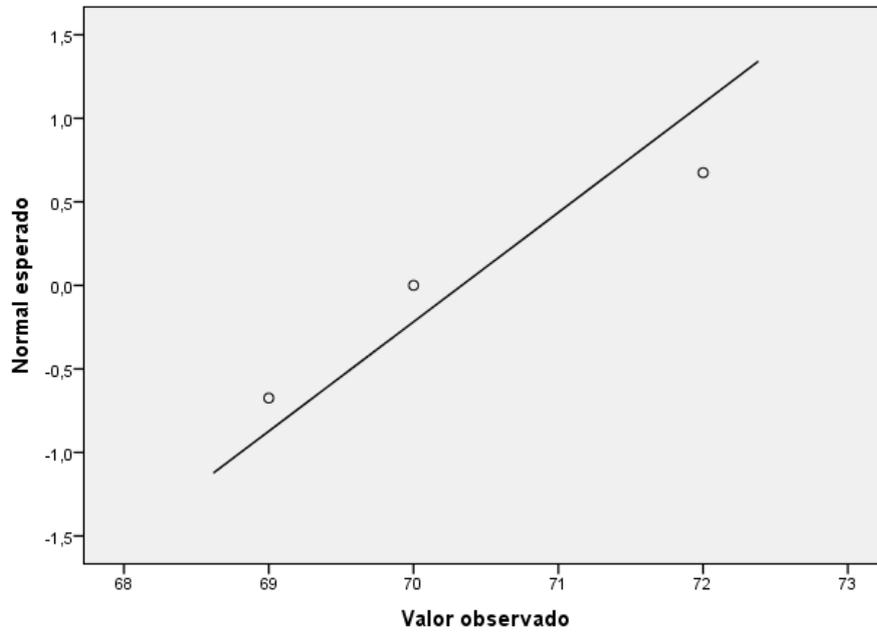
A continuación, se grafica la distribución normal para la variable “Resistencia a la flexión” para cada cantidad de fibra (300 g, 600 g, 900 g).

**Figura N° 26:** Gráfico Q-Q normal de resistencia a la flexión con 300  $gr/m^3$



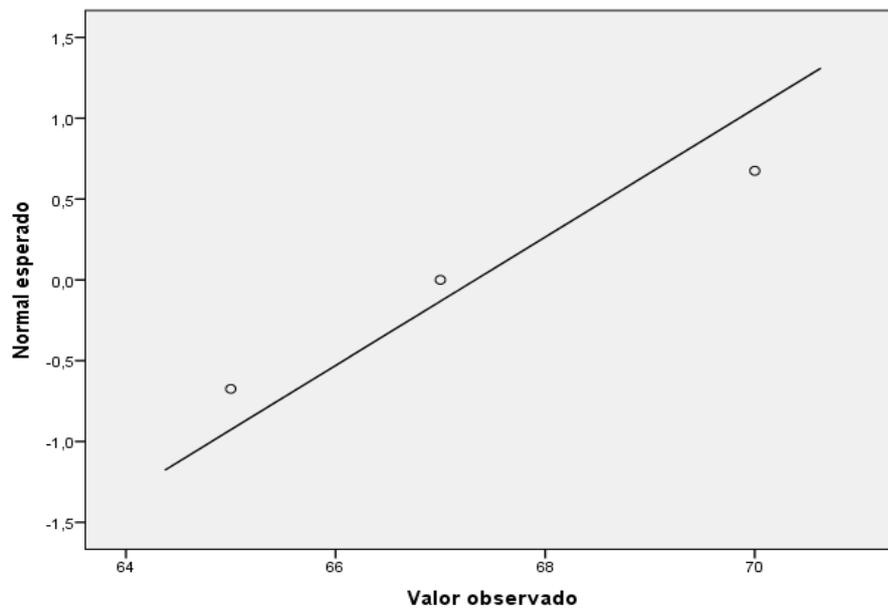
Fuente y elaboración: Autor de tesis

**Figura N° 27:** Gráfico Q-Q normal de resistencia a la flexión con 600  $gr/m^3$



Fuente y elaboración: Autor de tesis

**Figura N° 28:** Gráfico Q-Q normal de resistencia a la flexión con 900  $gr/m^3$



Fuente y elaboración: Autor de tesis

✓ **Prueba de homocedasticidad**

Para la prueba de homocedasticidad (igualdad de varianzas) se usó la prueba de Levene mediante el programa IBM SPSS, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla N° 46:** Prueba de homogeneidad de varianza de la variable Resistencia a la flexión

Resistencia a la flexión			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
,373	2	6	,703

Fuente y elaboración: Autor de tesis

Hipótesis nula ( $H_0$ ) = La variable tienen igualdad de varianzas poblacionales.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ) = La variable no tiene igualdad de varianzas poblacionales.

El programa aportó una significación estadística, o valor “p” asociado a la hipótesis nula”. Cuando ese valor “p” es no significativo ( $p > 0,05$ ) se puede confirmar la homogeneidad de varianzas. En este caso el valor para “p” fue de 0.703, por lo tanto se aceptó la hipótesis nula.

✓ **Anova**

Se realiza el análisis de varianzas (ANOVA), el cual permite contrastar la hipótesis nula ( $H_0$ ) de que “No existen diferencias significativas entre los grupos”

**Tabla N° 47:** Prueba de ANOVA para la variable resistencia a la flexión

Resistencia a la flexión					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Entre grupos</b>	326,000	2	163,000	37,615	,000
<b>Dentro de grupos</b>	26,000	6	4,333		
<b>Total</b>	352,000	8			

Fuente y elaboración: Autor de tesis

Hipótesis nula ( $H_0$ ) = No existen diferencias significativas entre los grupos.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ) = Existen diferencias significativas entre los grupos.

Para llevar a cabo el contraste, el programa aportó la distribución F de Snedecor el cual es de 37.615 y una significación estadística ("p") de 0.000 (significativo).

Por lo tanto, se rechazó la hipótesis nula, y se aceptó la hipótesis alternativa, la cual dice que "Si existen diferencias significativas entre los grupos".

#### ✓ Post Hoc

Cumpliendo los criterios de normalidad y homocedasticidad, se realizó la prueba estadística de Bonferroni, a través del programa IBM SPSS.

**Tabla N° 48:** Comparación múltiple para la variable resistencia a la flexión

Variable dependiente: Resistencia a la flexión

Bonferroni

(I) Cantidad de fibra	(J) Cantidad de fibra	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
300,00	600,00	11,00000*	1,69967	,002	5,4124	16,5876
	900,00	14,00000*	1,69967	,001	8,4124	19,5876
600,00	300,00	-11,00000*	1,69967	,002	-16,5876	-5,4124
	900,00	3,00000	1,69967	,384	-2,5876	8,5876
900,00	300,00	-14,00000*	1,69967	,001	-19,5876	-8,4124
	600,00	-3,00000	1,69967	,384	-8,5876	2,5876

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

En el cuadro de comparaciones múltiples se observa que cada grupo de resistencia a la flexión de acuerdo con el porcentaje de fibra de polipropileno se compara con los otros dos, obteniéndose en cada contraste el valor "p" asociado, que en los casos de 300 g, 600 g y 900 g de fibra, es significativo, como se sabía que iba a suceder por el análisis realizado. Ante esta situación, al encontrar la diferencia de medias significativa y como se pretende aumentar la resistencia a la flexión, se puede concluir que **cuando se aplica al mortero, 300 gr/m<sup>3</sup> de fibra de polipropileno, se obtiene una mejor respuesta en la resistencia a la flexión.**

#### 4.6. Evaluación económica

##### 4.6.1. Mortero patrón (sin dosis de fibra) vs morteros adicionados con diferentes cuantías de fibra de polipropileno.

Tabla N° 49: Precio de los materiales

Materiales	Und.	Precio (S/.)
Agua	m <sup>3</sup>	1.89
Cemento tipo MS	bls (42.5 kg)	23.90
Arena gruesa	m <sup>3</sup>	39.40
SikaCem- 1 plastificante	bls (1kg)	4.04
SikaCem- 1 fiber	bls (100 gr)	1.71
Waipe	bls (400 gr)	5.90
Sikadur 35	kg	50.87

Fuente y elaboración: Autor de tesis

- **Mortero patrón ( sin dosis de fibra)**

**Costo por elaboración de la mezcla:**

- Dosificación SikaCem- 1 plastificante en polvo:  
1 bolsa de 1 kg por cada bolsa de cemento de 42.5 kg.

Tabla N° 50: Costo por cantidad de materiales para elaborar 1 m<sup>3</sup> de mortero patrón (sin dosis de fibra)

Elemento	Peso (kg/m <sup>3</sup> )	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Costo x m <sup>3</sup>
Agua	270	m <sup>3</sup>	0.27	1.89	0.51
Cemento tipo MS	450	bls (42.5 kg)	10.59	23.90	253.06
Arena gruesa	1542	m <sup>3</sup>	0.92	39.40	36.38
SikaCem- 1 plastificante	10.59	bls (1 kg)	10.59	4.04	42.77
				<b>Total</b>	<b>332.72</b>

Fuente y elaboración: Autor de tesis

Se determinó que el costo de elaborar 1 m<sup>3</sup> de mortero es de **S/. 332.72**.

### **Costo por reparación estructural de fisuras:**

El número de fisuras presentadas en el mortero patrón durante el ensayo de contracción plástica fueron igual a 8. Estas fisuras tuvieron un ancho promedio de 0.4 mm, las cuales, de acuerdo a la ACI 224R-01, deben de ser reparadas, ya que excede el valor límite nominal del ancho de fisura que anticiparía consecuencias funcionales de la fisuración. Por lo tanto, se realizó el análisis de precios unitarios (APU) para calcular el costo de reparar cada metro lineal de las fisuras presentadas mediante la inyección de un adhesivo a base de resina epóxica (Sikadur 35).

Debido a que las 8 fisuras del mortero patrón se presentaron en un área equivalente a la de un panel rectangular ( $0.21 m^2$ ), las fisuras tuvieron 0.031 metros lineales.

**Tabla N° 51:** Longitud de fisuras presentadas en el mortero patrón

<b>Fisuras</b>	<b>Longitud (mm)</b>
fisura 1	1.40
fisura 2	2.40
fisura 3	11.00
fisura 4	4.10
fisura 5	1.60
fisura 6	2.40
fisura 7	3.90
fisura 8	3.80
Long. Fisuras:	30.6 mm

Fuente y elaboración: Autor de tesis

### **ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

- ✚ Actividad: Inyección de resina epóxica en fisuras para reparación estructural
- ✚ Consumo medio: 0.5 kg/ml
- ✚ Herramientas manuales: 10% de la mano de obra.
- ✚ Equipo de inyección: 8 fisuras/hr (CYPE Ingenieros S.A, 2017)

**Tabla N° 52:** Análisis de precio unitario. Inyección de resina epóxica en fisuras para reparación estructural

INSUMO	UND	CANT.	PRECIO UNIT. (S/)	PARCIAL (S/)	SUBTOTAL (S/)
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>13.85</b>
Operario	HH	0.125	64.30	8.04	
Peón especializado	HH	0.125	46.50	5.81	
<b>MATERIALES</b>					<b>40.29</b>
Resina epóxica Sikadur- 35	kg	0.5	80.57	40.29	
<b>EQUIPO</b>					<b>0.53</b>
Equipo de inyección manual de resina	und	0.125	4.24	0.53	
<b>HERRAMIENTAS</b>					<b>0.419</b>
Herramientas manuales	% mo	10.00	4.19	0.419	
<b>COSTO POR METRO LINEAL DE INYECCIÓN:</b>					<b>55.09</b>

Fuente y elaboración: Autor de tesis

Entonces, el costo por reparar 0.031 ml de fisuras será de:  $0.031 \times 55.09 =$  **S/ 1.71 soles.**

Finalmente, el costo total de elaborar el mortero patrón y su reparación de fisuras será de:  $332.72 + 1.71 =$  **S/ 334.43 soles.**

### **IMPORTANTE**

El costo adicional por reparar los 0.031 ml de fisura fue mínimo, debido a que se presentaron en un panel rectangular de  $0.21 \text{ m}^2$ . Sin embargo, las fisuras que suelen presentarse en el concreto, en superficies grandes, son de mayor significancia.

Por lo tanto, considerando lo mencionado, se cuantificó los metros lineales de fisura que aparecerían en un  $\text{m}^2$ , tenemos:

$$\begin{array}{r}
 0.034 \text{ ml} \dots\dots\dots 0.21 \text{ m}^2 \\
 \times \dots\dots\dots 1 \text{ m}^2 \\
 \hline
 x = 0.16 \text{ ml /m}^2
 \end{array}$$

En un  $\text{m}^2$  se tendría 0.16 ml de fisuras.

Por lo tanto:  $0.16 \times 55.09 =$  S/. 8.81.

- **Mortero dosificado con 300 ( $gr/m^3$ ) de fibra de polipropileno:**

Costo por elaboración de la mezcla con 300 ( $gr/m^3$ ) de fibra de polipropileno:

**Tabla N° 53:** Costo por cantidad de materiales para elaborar 1  $m^3$  de mortero con 300 ( $gr/m^3$ ) de fibra de polipropileno

Elemento	Peso ( $kg/m^3$ )	Und.	Cantidad	Precio (S/.)	Costo x $m^3$
Agua	270	$m^3$	0.27	0.06	0.02
Cemento tipo MS	450	bls (42.5 kg)	10.59	23.90	253.06
Arena gruesa	1542	$m^3$	0.92	39.40	36.38
SikaCem- 1 plastificante	10.6	bls (1 kg)	10.59	4.04	42.77
SikaCem-1 Fiber	0.3	bls (100 gr)	3.00	1.71	5.12
				<b>Total</b>	<b>337.35</b>

Fuente y elaboración: Autor de tesis

Se determinó que el costo para producir 1  $m^3$  de mortero con 300  $gr/m^3$  es de **S/. 337.35**

Reparación de fisuras:

Las fisuras por contracción plástica que se presentaron en este mortero fueron cuatro, las cuales, tuvieron un ancho promedio de 0.18 mm, por lo tanto, no requirieron ser reparadas, de acuerdo a la norma ACI 224R-01.

- **Mortero dosificado con 600 ( $gr/m^3$ ) de fibra de polipropileno:**

Costo por elaboración de la mezcla con 600 ( $gr/m^3$ ) de fibra de polipropileno:

**Tabla N° 54:** Costo por cantidad de materiales para elaborar 1  $m^3$  de mortero con 600 ( $gr/m^3$ ) de fibra de polipropileno

Elemento	Peso ( $kg/m^3$ )	Und.	Cantidad	Precio (S/.)	Costo x $m^3$
Agua	270	$m^3$	0.27	0.06	0.02
Cemento tipo MS	450	bls (42.5 kg)	10.59	23.90	253.06
Arena gruesa	1542	$m^3$	0.92	39.40	36.38
SikaCem- 1 plastificante	10.6	bls (1 kg)	10.59	4.04	42.77
SikaCem-1 Fiber	0.6	bls (100 gr)	6.00	1.71	10.25
				<b>Total</b>	<b>342.47</b>

Fuente y elaboración: Autor de tesis

Se determinó que el costo para producir 1  $m^3$  de mortero con 600  $gr/m^3$  es de **S/. 342.47.**

Reparación de fisuras:

Las fisuras por contracción plástica que se presentaron en este mortero fueron cuatro, las cuales, tuvieron un ancho promedio de 0.15 mm, por lo tanto, no requirieron ser reparadas, de acuerdo a la norma ACI 224R-01.

- **Mortero dosificado con 900 ( $gr/m^3$ ) de fibra de polipropileno:**

Costo por elaboración de la mezcla con 900 ( $gr/m^3$ ) de fibra de polipropileno:

**Tabla N°55:** Costo por cantidad de materiales para elaborar 1  $m^3$  de mortero con 900 ( $gr/m^3$ ) de fibra de polipropileno

Elemento	Peso ( $kg/m^3$ )	Und.	Cantidad	Precio (S/.)	Costo x $m^3$
Agua	270	$m^3$	0.27	0.06	0.02
Cemento tipo MS	450	bls (42.5 kg)	10.59	23.90	253.06
Arena gruesa	1542	$m^3$	0.92	39.40	36.38
SikaCem- 1 plastificante	10.6	bls (1 kg)	10.59	4.04	42.77
SikaCem-1 Fiber	0.6	bls (100 gr)	9.00	1.71	10.25
				<b>Total</b>	<b>347.59</b>

Fuente y elaboración: Autor de tesis

Se determinó que el costo para producir 1  $m^3$  de mortero con 900  $gr/m^3$  es de **S/. 347.59.**

Reparación de fisuras:

Las fisuras por contracción plástica que se presentaron en este mortero fueron cuatro, las cuales, tuvieron un ancho promedio de 0.10 mm, por lo tanto, no requirieron ser reparadas, de acuerdo a la norma ACI 224R-01.

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

1. La figura N°9, muestra la curva granulométrica promedio del agregado fino, en donde se puede observar que la gradación de la arena se encuentra dentro de los intervalos establecidos en la norma NTP 400.037-14, por lo tanto es apta para la elaboración del mortero de reparación estructural.
2. El módulo de finura de la arena es de 2.3, el cual se encuentra dentro del rango recomendando en la norma NTP 400.037-14. Por lo tanto, se considera que se trata de una arena con una granulometría ligeramente fina, debido a que su módulo de finura se encuentra en el rango mínimo recomendable (entre 2.3 y 3.1). La importancia de este estudio radica en el hecho de que el árido constituye el esqueleto del mortero, así lo sostiene Alejandro Sánchez (p.61): *“La determinación de su proporción frente al conglomerante, su curva granulométrica y su tamaño máximo de árido es de gran importancia cuando es necesario realizar la elección de una arena para elaborar un mortero de reparación (...). Es frecuente encontrar componentes perjudiciales y granulometrías incorrectas que no proporcionan una adecuada compacidad”*.
3. El contenido de humedad del agregado fino es de 0.6%, siendo relativamente bajo, lo cual nos indica que los poros del agregado estaban parcialmente secos, por lo tanto no aporta una gran cantidad de agua a la mezcla.
4. Para determinar el contenido de polvo u otras partículas presentes en el agregado, se realizó el ensayo para determinar los materiales más finos que pasan por el tamiz (N°200), por lavado, de acuerdo a la NTP 400.018. Se determinó un valor promedio de 4%, por lo tanto, se puede decir que la cantidad de material más fino es relativamente alto, sin embargo se encuentra dentro del rango recomendado por la norma NTP 400.037-14, la cual estipula que para diferentes tipos de concretos el porcentaje máximo del total de la muestra será de 5%.
5. Durante las mezclas de prueba se comprobó que al trabajar con una arena ligeramente fina (módulo de finura =2.3) y una relación de agua/cemento baja (mayor contenido de cemento > menor contenido de agua), se producen mezclas secas,

difíciles de compactar, además de que no alcanzan la resistencia a la compresión ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ) a los 28 días. Este hecho tiene su fundamento teórico, en lo que sostuvo Sánchez Guzmán (p.311): *“De la gradación de la arena, depende en muy buena parte la trabajabilidad... Los módulos de finura bajos requieren más agua que los gruesos para una misma consistencia, por lo cual se generan morteros frágiles y porosos”*. En este caso, al contar con una arena ligeramente fina, los requerimientos de agua fueron mayores, lo que a su vez, tuvo una influencia directa sobre la resistencia, como se sabe, a mayores contenido de agua, la resistencia disminuye. Por todo lo anterior expuesto, se realizó el diseño de mezcla con una relación a/c de 0.60, relación a/c normal para un concreto convencional, alcanzando las resistencias deseadas del mortero 28 días, además se optimizó este diseño de mezcla a través de la adición del aditivo plastificante SikaCem-Plastificante en polvo, el cual, aportó trabajabilidad a la mezcla, redujo su contenido de agua y en consecuencia incremento ligeramente sus resistencias.

6. El ensayo de contracción plástica en estado fresco se realizó tomando como base el procedimiento estipulado en la norma ASTM C1579-13, con paneles rectangulares de mortero de 560 mm x 360 mm x 110 mm. El ensayo se realizó con los parámetros ambientales de la ciudad de Trujillo del mes de Febrero del año 2018, mediante la simulación de una cámara ambiental controlada la cual se construyó, mediante un sistema de ángulos ranurados, protegido con una cubierta plástica. Se instaló un termómetro dentro de la cámara, para registrar la temperatura exacta del área. Se realizó la inspección visual de los paneles por un periodo de 24 horas, registrando la hora de inicio de colocado de los especímenes, así como la hora de aparición de cada fisura y su tiempo de propagación. Para la medición de las dimensiones de las fisuras se hizo uso de un fisurómetro y una regla de acero.
  
7. Los ensayos realizados al mortero en estado endurecido se realizaron bajo la norma ASTM C109, con dimensiones de 50mm x 50mm x 50mm para los ensayos de resistencia a la compresión y bajo la norma ASTM C293, con dimensiones de 40mm x 400mm x 1600mm para los ensayos de resistencia a la flexión. Se retiró los moldes a las 24 horas y se curaron en agua con hidróxido de calcio, por un periodo de 7 y 28

- días. La adición de cal al agua busca subirle el PH hasta un rango de 13 o 14 para que no le quite cal al mortero, como lo estipula la ASTM C31.
8. La tabla N°32 muestra los resultados del ensayo de asentamiento donde se evidencia que existe una pérdida de asentamiento según se incrementa la dosis de fibra con respecto al concreto patrón. El mortero patrón sin adición de fibras tiene un asentamiento de 3" mientras que para morteros con fibra de polipropileno en dosis de 300, 600 y 900  $gr/m^3$  se tiene asentamientos de 2 1/2", 2" y 1" respectivamente. La variación porcentual con respecto al mortero patrón (100%) es del 83%, 67%, 33%. Las figuras N°10 y N°11 muestran los resultados mencionados anteriormente. Este hecho, confirma la teoría de Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, los cuales sostienen que *"La presencia de fibras de polipropileno en el concreto pueden reducir su revenimiento (asentamiento)"*. Asimismo se corrobora los resultados obtenidos por Mendoza, Aire, Dávila, y Milán, en sus respectivos estudios.
  9. La tabla N°33 muestra las temperaturas registradas del mortero en las dosis de 0, 300, 600 y 900  $gr/m^3$ . Dichas temperaturas fueron de 28.0 °C, 28.5 °C, 28.0 °C y 28.0 °C, respectivamente, por lo tanto, se demostró que las fibras de polipropileno no tuvieron incidencia en dicha propiedad. Esto se puede apreciar en la figura N°12.
  10. La tabla N°34, muestra los resultados del ensayo de contracción plástica, donde se evaluaron las fisuras generadas en paneles de mortero con distintas dosificaciones de fibra de polipropileno. Con respecto al ancho promedio de fisura que se generaron, los resultados muestran que en el mortero patrón el ancho promedio de fisura que se generaron fue de 0.40 mm (100%). Para morteros con fibra en la dosis de 300, 600 y 900  $gr/m^3$  los anchos promedios fueron de 0.20, 0.10 y 0.08 mm respectivamente, generando una reducción del 50%, 75% y 80%, de los mismos. Esto se puede apreciar en las figuras N°13 y N°14.
  11. Con respecto a la longitud promedio de las fisuras que se generaron, los resultados muestran que en el mortero patrón la longitud promedio de fisura que se generó fue de 3.83 cm. Para morteros con fibra en la dosis de 300, 600 y 900  $gr/m^3$  las longitudes promedios fueron de 3.23, 2.67 y 2.05 cm respectivamente, generando

una reducción del 15.67%, 30.29% y 46.48%, de los mismos. Esto se puede apreciar en las figuras N°15 y N°16.

12. Con respecto al tiempo en que tardan en aparecer las fisuras y la duración de las mismas para cada muestra, la figura N°17 muestra que en el mortero patrón la primera fisura aparece a los 87 min de conformado el panel de mortero y 44 minutos a partir de eso aparecen las demás fisuras, mientras que para los paneles de mortero con adiciones de fibra de 300, 600 y 900  $gr/m^3$  los tiempos en que aparecen las primeras fisuras son 91,107 y 121 minutos respectivamente, teniendo intervalos de 32, 25 y 12 minutos para que otras fisuras se generen.
13. La tabla N°36 muestra los resultados de la resistencia a la compresión, donde se observa que las probetas cúbicas sin fibras, pudieron llegar al 180% de la resistencia a la compresión para la cual fueron diseñadas ( $210 kg/cm^2$ ). Mientras tanto, las probetas con diferentes cuantías de fibra tuvieron ligeros incrementos de 3% y 7% en las resistencias a la compresión, a los 7 y 28 días respectivamente, sin embargo, ninguna dosis superó la resistencia obtenida por el mortero patrón. Esto se visualiza en la figura N°19.
14. La tabla N°37, muestra la resistencia a la compresión obtenidas en los 7 y 28 días en todas las dosificaciones de fibra (0 g, 300 g, 600 g, 900 g), la cual presenta una desviación estándar promedio de  $4.75 kg/cm^2$ , Teniendo como valores al más bajo 2 y el mayor 7. Para lo cual, de acuerdo a la norma ACI 214R-11, se ha considerado una dispersión total EXCELENTE. Considerándose los datos confiables/aceptables. Asimismo el coeficiente de variación promedio fue de  $1.6 kg/cm^2$ , Teniendo como valores al más bajo 0.891 y el mayor 2.328. Para lo cual, de acuerdo a la norma ACI 214R-11, se ha considerado una dispersión entre testigos EXCELENTE. Considerándose los datos confiables/aceptables.
15. La tabla N°38, muestra los resultados del ensayo de la resistencia a la flexión resume los datos de este ensayo. En general, existe un ligero aumento en la resistencia a la flexión en la muestra de mortero con adiciones de 300  $gr/m^3$  de fibra. Sin embargo, a mayores concentraciones de fibra, la resistencia disminuye. Esto se visualiza en las figuras N°20 y N°21. Para morteros con fibra en las dosis de 300  $gr/m^3$  la resistencia

a la flexión incrementa en 2.10% y 7.09% en las edades de 7 y 28 días respectivamente, con respecto al concreto patrón. Sin embargo, para dosis de 600 y 900  $gr/m^3$  de fibra, la resistencia decreció de 7.23% hasta 25.90% en las edades de 7 y 28 días, con respecto al concreto patrón. Estos resultados se pueden apreciar en la tabla N°39 y en la figura N°22. Por lo tanto, la dosificación adecuada de fibra de polipropileno para la resistencia a la flexión fue de 300  $gr/m^3$ .

16. La tabla N°40, muestra la resistencia a la flexión obtenidas en los 7 y 28 días en todas las dosificaciones de fibra (0 g, 300 g, 600 g, 900 g), la cual presenta una desviación estándar promedio de 3.00  $kg/cm^2$ , Teniendo como valores al más bajo 2 y el mayor 3. Para lo cual, de acuerdo a la norma ACI 214R-11, se ha considerado una dispersión total EXCELENTE. Considerándose los datos confiables/aceptables. Asimismo el coeficiente de variación promedio fue de 3.25  $kg/cm^2$ , Teniendo como valores al más bajo 2.217 y el mayor 5.201. Para lo cual, de acuerdo a la norma ACI 214R-11, se ha considerado una dispersión entre testigos EXCELENTE. Considerándose los datos confiables/aceptables.
17. De los resultados del ensayo de contracción de plástica, se determinó que el mortero que mejor comportamiento presentaba hacia la fisuración fue el de 900  $gr/m^3$ . Sin embargo, el asentamiento que se obtuvo con el mismo (1") supondría ciertos problemas de colocación en obra. Por lo tanto, evaluando esta posible situación, se determinó finalmente que la dosificación más óptima de fibra de polipropileno fue la de 300  $gr/m^3$ , la cual presentó un asentamiento de 2 ½, tuvo un similar comportamiento a la fisuración que el dosificado con 900  $gr/m^3$  (presentando menor número de fisuras con volumen mínimos), así como incrementó ligeramente las resistencias a la flexión del mortero en estado endurecido.
18. De la evaluación económica, se puede observar que el costo de elaborar 1  $m^3$  de mortero, aumenta progresivamente en S/. 5.12 a medida que se aumenta la cantidad de fibra de polipropileno. En la tabla N°53 se observa que el costo de elaborar un 1  $m^3$  de mortero con 300  $gr/m^3$  de fibra es igual a S/.337.35, lo cual excede en S/. 2.92 al costo de elaborar un mortero patrón más la reparación de sus fisuras (S/.334.43). Sin embargo, considerando que las fisuras se desarrollaron en un área

representativa. Las fisuras desarrolladas en superficies grandes de concreto, serán por lo tanto más significativas. Es exactamente en este punto, donde se valora el costo- beneficio de añadir fibra de polipropileno a un mortero con fines de reparación. Considerando la aparición de fisuras y propagación de las mismas entre ambos morteros, es evidente que el dosificado con  $300 \text{ gr}/\text{m}^3$  de fibra es el más óptimo a largo plazo, puesto que no requiere reparación, evitando de esta manera, generar un costo adicional por la inyección de fisuras presentadas si se elabora un mortero patrón. La tabla N°52 muestra que el costo de inyectar un metro lineal de fisura es igual a S/ 55.09 /ml, costo elevado, debido a que las resinas epóxicas son costosas y requieren mano de obra especializada para su aplicación, además de que no son productos estéticos, puesto que el color puede variar de acuerdo a su exposición a la iluminación, etc.

## CONCLUSIONES

1. La arena utilizada, en promedio, tiene un módulo de finura de 2.3 y su granulometría está comprendida entre los límites establecidos en la norma NTP 400.037-14, además, de acuerdo a los resultados del material más fino que pasa el tamiz N°200 por lavado, el material se encuentra dentro de los límites especificados de sustancias deletéreas en el agregado fino. Lo que nos indica que la arena es adecuada para ser utilizada en las mezclas para mortero.
2. Se diseñó y elaboró una mezcla de mortero de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , tomando como referencia las normas ACI 318-08 y E070. Asimismo, se recogió información de antecedentes, corroborando las dosificaciones sugeridas mediante ensayos “prueba-error”. Se obtuvo una  $r/a/c$  de 0.60, 19.8% de cemento, 11.9% de agua y 67.8% de agregado fino, 0.47% de aditivo Sika-Cem 1 plastificante en polvo con un peso total de 2274 Kg por  $1 \text{ m}^3$ .
3. Un diseño óptimo de mortero se basa en una proporción adecuada de los materiales que lo conforman, por esta razón, pruebas preliminares de la cantidad de cemento, agua y arena garantizan que el mortero tengan características deseables de trabajabilidad y resistencia. Así lo señala Sánchez Guzmán: *“Para determinar el requerimiento de agua, el procedimiento de prueba y error es el más largo y tedioso, pero hasta ahora ha resultado el más preciso”*. Durante la ejecución de los ensayos “prueba-error” para el diseño de mezclas se concluyó que cuanto menor es el módulo de finura de la arena mayor cantidad de agua se requiere para alcanzar la consistencia adecuada del mortero. Es por ello, que se hizo necesario el uso del aditivo plastificante en polvo SikaCem-1, el cual redujo el requerimiento de agua en el mortero, aportándole trabajabilidad e incrementando ligeramente sus resistencias.
4. La inclusión de fibra de polipropileno en el mortero, influye en la consistencia de la mezcla a través de la disminución de su asentamiento, el cual fue de 25.4 mm (1”) con dosis de fibra de  $900 \text{ gr/m}^3$ . Este fenómeno se produce debido a que las fibras generan una mayor cohesión entre las partículas del mortero otorgándole mayor

resistencia a la segregación. Este efecto de unión es más notorio mientras se incrementa la adición de fibras.

5. La dosificación que presentó una mayor reducción de fisuras por contracción plástica fue la de  $900 \text{ gr/m}^3$ , alcanzando una reducción del 80% de fisuras, con respecto al mortero patrón.
  
19. Al incorporar fibras de polipropileno en la mezcla de concreto, en las dosis de 300 g, 600 g, 900 g, se generó un ligero incremento, no significativo, en la resistencia a la compresión, del 3% y 7%, a los 7 y 28 días respectivamente. Siendo la dosis óptima la de  $900 \text{ gr/m}^3$ , la cual obtuvo una resistencia igual a  $368 \text{ kg/cm}^2$ , más cercana a la resistencia alcanzada por el mortero patrón la cual fue de  $377 \text{ kg/cm}^2$ .
  
6. Para la resistencia a la flexión, su máximo valor se consiguió con una dosificación de  $300 \text{ gr/m}^3$ , alcanzando una resistencia de  $81 \text{ kg/cm}^2$ , notándose un aumento de 7.18% con respecto a la probeta patrón, la cual presentó una resistencia de  $76 \text{ kg/cm}^2$ .
  
7. Se concluye que la dosificación que mejor comportamiento tuvo fue la de  $300 \text{ gr/m}^3$  de fibra de polipropileno, porque con esa cantidad de fibra, la contracción plástica se redujo en un 50% con respecto al mortero patrón, presentaba una adecuada manejabilidad para su colocación, asimismo la resistencia a la flexión aumentó en un 7.18% con respecto a la probeta sin adición de fibras.
  
8. El costo de elaborar un mortero con una dosificación de  $300 \text{ gr/m}^3$  de fibra de polipropileno, tiene un costo de S/. 337.35, lo cual implica un aumento de S/. 2.92 con respecto al costo de elaborar un mortero patrón más la reparación de sus fisuras (S/. 334.43). Sin embargo, la relación costo- beneficio justifica este ligero incremento. Con un mortero con dosificaciones de  $300 \text{ gr/m}^3$ , se reducirá notablemente el número de fisuras, así como la magnitud de las mismas, por lo tanto no requerirá de reparación. Mientras tanto, el mortero sin adición de fibras, si presentará un alto potencial de fisuración, que requerirá ser reparado mediante una inyección de resinas epóxicas, significando un costo adicional al de la producción de la mezcla, puesto que necesitara ser reparado estructural y estéticamente.

## RECOMENDACIONES

1. Ubicar el cemento y los agregados en un ambiente seco y protegido de la lluvia, para asegurar que el material mantenga las condiciones en las que se realizó su caracterización y evitar posibles alteraciones en el diseño de mezcla.
2. Referente a los materiales más finos que pasan la malla N°200, se debe considerar un proceso de optimización de dicho material mediante procesos de lavado en cantera a fin de minimizar el porcentaje (%) obtenido.
3. Diferentes estudios han concluido que arenas gruesas con módulos de finura entre 2.7 y 3.2, resultan recomendables por una buena trabajabilidad y resistencia a la compresión. (Salcedo, 2006), Por lo tanto, se recomienda utilizar un agregado fino que cumpla esta condición, para la elaboración de un mortero con fines de reparación estructural.
4. Se recomienda que el tiempo de mezclado de la fibra de polipropileno en el mortero no sobrepase los 5 minutos, ya que a mayor tiempo de mezclado se incluirá aire en el mortero, lo cual creará menor adherencia entre la matriz cementante y la fibra.
5. Se recomienda el uso de equipos en la operación de mezclado para asegurar un mortero uniforme. En este caso, para la elaboración de especímenes cúbicos y vigas se utilizó una batidora manual, debido a que se trabajó con mezclas menores a 0.007 m<sup>3</sup>. Por el contrario, se hizo uso de una mezcladora, para la conformación de los paneles rectangulares de mortero.
6. Para dosis de fibra de polipropileno igual o mayores a 900 gr/m<sup>3</sup> se recomienda el uso de aditivo plastificante, para mejorar la consistencia del mortero, además de realizar un nuevo diseño de mezcla.

7. Se recomienda usar la fibra de polipropileno en la dosis de  $300 \text{ gr} / \text{m}^3$ , puesto que presenta mejores resultados en el asentamiento y resistencia a la flexión, además reduce la fisuración por contracción plástica en un 50%, disminuyendo su grado de severidad.
8. Se recomienda en futuras investigaciones, evaluar rangos intermedios de dosificación de fibra de polipropileno para la resistencia a la compresión y flexión, a manera de establecer una tendencia clara del comportamiento de estas propiedades con la inclusión de fibra.
9. Se recomienda realizar un curado efectivo del mortero, para evitar la aparición de fisuras por contracción plástica debido a la evaporación rápida de agua.
10. Debido a los buenos resultados para contrarrestar la fisuración por retracción plástica, es recomendable el empleo de mortero adicionado con fibras de polipropileno para reparación de elementos con superficies vulnerables a la pérdida de agua por evaporación, tales como losas.

## REFERENCIAS

- ACI 212-10. Report on chemical Admixtures for concrete. American concrete Institute. 2010. USA
- ACI 224-1R-93. Causes, evaluation and Repair of cracks in concrete Structures. American concrete Institute.1993. USA
- ACI 318-08. Requisitos para concreto estructural. American concrete Institute. 2008. USA.
- ACI 544.1R-96. Report on fiber reinforced concrete. American concrete Institute. Reapproved 2002. USA. Recuperado de: <http://indiafiber.com/Files/ACI%20report.pdf>
- Aditivos para concreto. Sika Colombia S.A.S. Recuperado de: <https://col.sika.com/es/produccion-de-concreto/sika-concrete-technology/noticias/aditivos-para-concreto.html>
- Alejandro Sánchez, Francisco Javier. Historia, caracterización y restauración de morteros. Universidad de Sevilla. 2002. En línea: [https://books.google.com.pe/books?id=lokp-mGpGwoC&pg=PA82&hl=es&source=gbs\\_toc\\_r&cad=3#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=lokp-mGpGwoC&pg=PA82&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=3#v=onepage&q&f=false)
- Corominas Salvador Albert. (2013). Estudio relativo a la utilización de escorias de incineradora en morteros hidráulicos. Universidad Politécnica de Cataluña. En línea: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6197>
- ASTM C109-95. Método de prueba estándar para la Resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (Usando especímenes de 50 mm). 1995.
- ASTM C143. Método estándar para la prueba del revenimiento en el concreto de cemento portland
- ASTM C1064-11. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura del concreto fresco con cemento Portland.
- ASTM C293-02.Metodo de ensayo estándar para la Resistencia a la flexión del concreto (utilizando viga simple con carga en el punto central). 2002
- ASTM C1579-13. Evaluating plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete. 2013. USA.
- ASTM C1116-03. Standar Specification for fiber-reinforced concrete. 2003. USA.

- Asociación de fabricantes del mortero (AFAM). Morteros Guía General. 2003. En línea: [https://books.google.es/books?id=DTCfThIqAHYC&pg=PA30&hl=es&source=gbs\\_selected\\_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=DTCfThIqAHYC&pg=PA30&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false)
- Callister, William. Introducción a la ciencia y la ingeniería de los materiales 2. Edición en español. Editorial Reverte. 1996. Barcelona, España. En línea: <https://books.google.com.pe/books?id=gnfPV1txXiUC&printsec=frontcover&dq=william+callister&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiOwsWS49fZAhUELpQKHU0JBa0Q6AEIKDAA#v=onepage&q=william%20callister&f=false>
- Harmsen, Teodoro. Diseño de estructuras de concreto armado. 4ta edición. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. 2005. En línea: [https://books.google.com.pe/books?id=Gr3Ga9\\_NB4C&printsec=frontcover&dq=neville+y+brooks+tecnologia+del+concreto&vq=%22Tecnolog%C3%ADa+del+concreto%22&source=gbs\\_citations\\_module\\_r&cad=3#v=onepage&q=%22Tecnolog%C3%ADa%20del%20concreto%22&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=Gr3Ga9_NB4C&printsec=frontcover&dq=neville+y+brooks+tecnologia+del+concreto&vq=%22Tecnolog%C3%ADa+del+concreto%22&source=gbs_citations_module_r&cad=3#v=onepage&q=%22Tecnolog%C3%ADa%20del%20concreto%22&f=false)
- Kosmatka, Steven; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, Willan y Tanesi, Jussara. Diseño y control de Mezclas de concreto. Portland Cement Association PCA. Skokie, Illinois, 1ra. ed. EE.UU. 2004 En línea: <https://es.scribd.com/doc/256603468/Disenoy-Control-de-Mezclas-de-Concreto-PCA-Kosmatka-Kerkhoff-Panarese-y-Tanesi>
- Martínez, Ramón. ¿Por qué se deteriora una estructura de hormigón? 2010. Interempresas.net. <http://www.interempresas.net/Construccion/Articulos/37070-Estructuras-de-hormigon.html>
- Munizaga, Gloria. (2009). Fisuración por retracción en hormigones: Influencia del tipo de cemento. Santiago de Chile.
- Neville A. y Brooks J. (1998). Tecnología del concreto. Editorial Trillas. Primera edición en español. México.
- Norma técnica E070. Albañilería. 2006.
- NTP 334.082. Cemento Portland, especificación de la performance. 3ra edición. Norma Técnica Peruana. 2008.
- NTP 339.088. Requisitos de calidad del agua para el concreto. Norma Técnica Peruana.
- NTP 400.012. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Norma Técnica Peruana. 3ra edición. 2013.

- NTP 400.037. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. Norma Técnica Peruana. 3ra edición. 2014.
- Osorio, Jesús David. (s.f.). Hidratación del concreto: Agua de curado y agua de cemento. En línea: <http://blog.360gradosenconcreto.com/importancia-del-agua-en-el-concreto/>
- Pérez García, E.J. Uso de arenas con alto contenido de material más fino que el tamiz 200 en la elaboración de hormigones hidráulicos. 2015. La Habana. Cuba. Recuperado de: <http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2015-Perez-MIN7-O11-Uso%20de%20arenas.pdf>
- Rivera, Gerardo. Agua de mezcla. s.f. En línea: <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%20%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2003%20-%20Agua%20de%20mezcla.pdf>
- Salamanca Correa, Rodrigo. La tecnología de los morteros. 2001. En línea: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101107>
- Sika. 2014. Rehabilitación. Fisuras en el concreto reforzado. Recuperado de: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/BROCHURE%20FISURAS%20EN%20EL%20CONCRETO%20REFORZADO%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/BROCHURE%20FISURAS%20EN%20EL%20CONCRETO%20REFORZADO%20(2).pdf)
- Sika. Reparación de estructuras. Recuperado de: [https://per.sika.com/es/soluciones-y-productos/publicaciones/articulos-tecnicos/Reparacion\\_de\\_Estructuras.html](https://per.sika.com/es/soluciones-y-productos/publicaciones/articulos-tecnicos/Reparacion_de_Estructuras.html)
- Sánchez de Guzmán, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Bogotá (Colombia). Pontificia Universidad Javeriana. 1987.
- Shah, S.P.; Weiss, W.J., and Yang, W. Shrinkage cracking-Can it be prevented?. Concrete International. 1998. Recuperado de: <http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Contraccion%20del%20Concreto/4%20Shrinkage%20Cracking-Can%20It%20Be%20Prevented.pdf>
- Tex delta. (s.f.). Aplicaciones y ventajas del uso de fibras de polipropileno. Visto en línea: <http://texdelta.com/blog/aplicaciones-y-ventajas-del-uso-de-fibras-de-polipropileno/>
- Valero, Jhoner. (2015). "Influencia de las fibras de polipropileno en la fisuración asociadas a la retracción plástica en pavimentos de concreto, Huancayo 2014". Huancayo, Perú.

- Instituto Mexicano del cemento y del concreto, A.C. 2011. Fisuras por contracción plástica del concreto. Imcyc.com. Recuperado de: <http://www.imcyc.com/revistacyt/dic11/arttecnologia.html>
- Zavaleta G, Hernán. Compendio de tecnología del hormigón. Instituto chileno del cemento y del hormigón. Reedición actualizada. Santiago, Chile. 1992.

## **ANEXOS**

### **ANEXO A: Muestra**

Anexo A.1. Nivel de confianza Z

### **ANEXO B: Ensayos del agregado fino**

Anexo B.1. Análisis granulométrico

Anexo B.2. Materiales más finos que pasan por el tamiz N°200 por lavado

Anexo B.3. Contenido de humedad

Anexo B.4. Peso unitario suelto y compactado

Anexo B.5. Densidad (peso específico y absorción)

### **ANEXO C: Fichas técnicas**

Anexo C.6. Hoja técnica Cemento portland Pacasmayo Tipo MS

Anexo C.7. Hoja técnica aditivo plastificante SikaCem-1 Plastificante en polvo

Anexo C.8. Hoja técnica de SikaCem- 1 Fiber

### **ANEXO D: Propiedades del mortero**

#### **Propiedades del mortero en estado fresco**

Anexo D.1. Ensayo de asentamiento del mortero con el cono de Abrahams

Anexo D.2. Ensayo de temperatura

Anexo D.3. Ensayo de contracción plástica- Registro de fisuras (mortero sin fibras)

Anexo D.4. Ensayo de contracción plástica- Registro de fisuras (mortero con fibras)

#### **Propiedades del mortero en estado endurecido**

Anexo D.5. Resistencia a la compresión del mortero, a los 7 y 28 días

Anexo D.6. Resistencia a la flexión del mortero, a los 7 y 28 días

### **ANEXO E: Panel fotográfico**

## **ANEXO A. MUESTRA**

## ANEXO A.1: NIVEL DE CONFIANZA Z

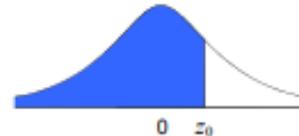
Probabilidad acumulada inferior para distribución normal N(0,1)

[www.vaxasoftware.com](http://www.vaxasoftware.com)

$\mu$  = Media

$\sigma$  = Desviación típica

$$P(z \leq z_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z_0} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$



Tipificación:  $z_0 = \frac{x - \mu}{\sigma}$

$z_0$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	$z_0$
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359	0,0
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753	0,1
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141	0,2
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517	0,3
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879	0,4
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224	0,5
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549	0,6
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852	0,7
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133	0,8
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389	0,9
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621	1,0
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830	1,1
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015	1,2
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177	1,3
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319	1,4
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441	1,5
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545	1,6
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633	1,7
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706	1,8
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767	1,9
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817	2,0
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857	2,1
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890	2,2
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916	2,3
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936	2,4
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952	2,5
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964	2,6
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974	2,7
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981	2,8
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986	2,9
3,0	0,99865	0,99869	0,99874	0,99878	0,99882	0,99886	0,99889	0,99893	0,99896	0,99900	3,0
3,1	0,99903	0,99906	0,99910	0,99913	0,99916	0,99918	0,99921	0,99924	0,99926	0,99929	3,1
3,2	0,99931	0,99934	0,99936	0,99938	0,99940	0,99942	0,99944	0,99946	0,99948	0,99950	3,2
3,3	0,99952	0,99953	0,99955	0,99957	0,99958	0,99960	0,99961	0,99962	0,99964	0,99965	3,3
3,4	0,99966	0,99968	0,99969	0,99970	0,99971	0,99972	0,99973	0,99974	0,99975	0,99976	3,4
3,5	0,99977	0,99978	0,99978	0,99979	0,99980	0,99981	0,99981	0,99982	0,99983	0,99983	3,5
3,6	0,99984	0,99985	0,99985	0,99986	0,99986	0,99987	0,99987	0,99988	0,99988	0,99989	3,6
3,7	0,99989	0,99990	0,99990	0,99990	0,99991	0,99991	0,99992	0,99992	0,99992	0,99992	3,7
3,8	0,99993	0,99993	0,99993	0,99994	0,99994	0,99994	0,99994	0,99995	0,99995	0,99995	3,8
3,9	0,99995	0,99995	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99996	0,99997	0,99997	3,9

$1-\alpha$	90%	92%	94%	95%	96%	97%	98%	99%
$\alpha$	10%	8%	6%	5%	4%	3%	2%	1%
$z_{1-\alpha/2}$	1,645	1,751	1,881	1,960	2,054	2,170	2,326	2,576
$z_{\alpha}$	1,282	1,405	1,555	1,645	1,751	1,881	2,054	2,326

Siendo:

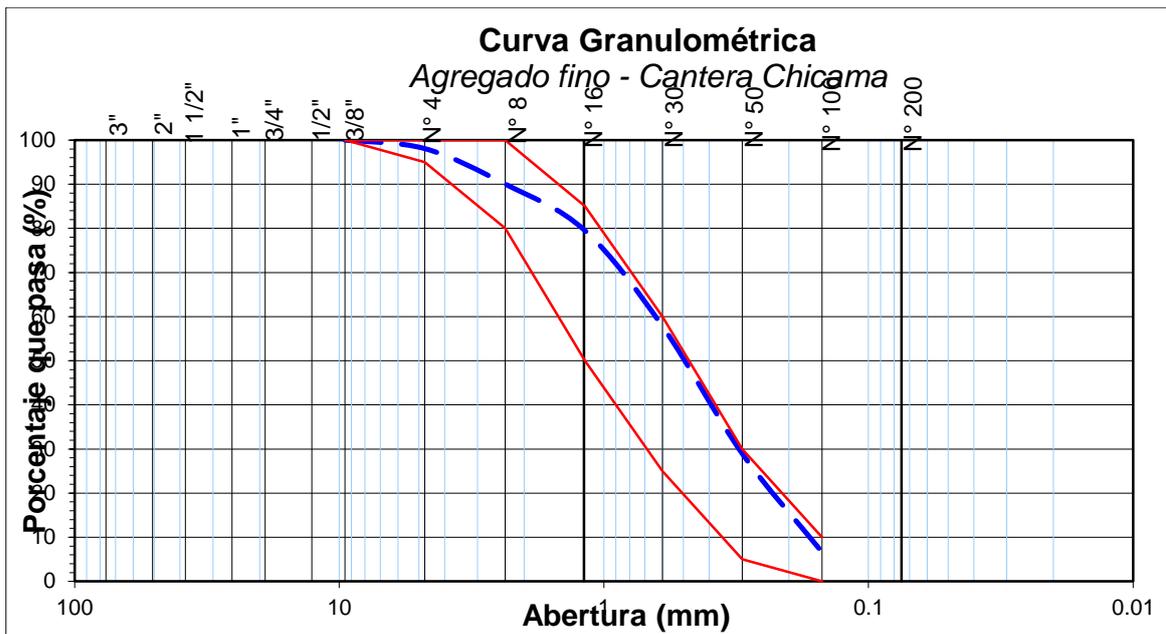
$1-\alpha$  = Nivel de confianza

$\alpha$  = Nivel de significación

## **ANEXO B. ENSAYOS DEL AGREGADO FINO**

**ANEXO B.1.**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**



Tamiz	Porcentaje (%) que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No.4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No.16)	50 a 85
600 um (No.30)	25 a 60
300 um (No.50)	05 a 30
150 um (No.100)	0 a 10

### ANEXO B.2.

#### MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN POR EL TAMIZ N°200 POR LAVADO

<b>MATERIALES MAS FINOS QUE PASAN TAMIZ N°200</b>	
<b>N° de muestra</b>	<b>Agregado fino</b>
M1	4.26
M2	4.18
M3	4.29
<b>Promedio</b>	<b>4.24 %</b>

### ANEXO B.3.

#### CONTENIDO DE HUMEDAD

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>	
<b>N° de muestra</b>	<b>Agregado fino</b>
M1	0.83
M2	0.55
M3	0.55
<b>Promedio</b>	<b>0.64 %</b>

#### ANEXO B.4

#### PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

Muestra	Peso Unitario suelto ( $kg/m^3$ )	Peso unitario compactado ( $kg/m^3$ )
M1	1671.07	1831.07
M2	1671.43	1836.43
M3	1670.36	1834.29
<b>Promedio</b>	<b>1670</b>	<b>1830</b>

#### ANEXO B.5.

#### DENSIDAD (PESO ESPECÍFICO) Y ABSORCIÓN

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN				
Descripción	Muestra			Promedio ( $kg/m^3$ )
	M1	M2	M3	
<b>Densidad (secado al horno):</b>	2662.33	2635.37	2675.63	<b>2660</b>
<b>Densidad (saturada superficialmente seca):</b>	2684.34	2677.13	2694.49	<b>2690</b>
<b>Densidad aparente:</b>	2722.40	2750.53	2727.20	<b>2730</b>
<b>Absorción:</b>	0.83	1.58	0.70	<b>1.04 %</b>

## **ANEXO C. FICHAS TÉCNICAS**

**ANEXO C.6:**  
**CEMENTO PORTLAND PACASMAYO TIPO MS**



**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**  
Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Montemico Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002  
Versión 01

**CEMENTO ANTISALITRE** NUEVA FÓRMULA **FORTIMAX3**  
Cemento Portland Tipo MS (MH) ( R )  
Conforme a la NTP 334.082 / ASTM C1157  
Pacasmayo, 20 de Julio del 2016

PROPIEDADES FISICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.082 / ASTM C1157
Contenido de Aire	%	4	NO ESPECIFICA
Expansión en Autoclave	%	0.07	Máximo 0.60
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	4560	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	4.0	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	2.95	NO ESPECIFICA
<b>Resistencia Compresión :</b>			
Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	23.3 (237)	Mínimo 11.0 (Mínimo 112)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	31.4 (320)	Mínimo 18.0 (Mínimo 184)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	43.3 (441)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)
<b>Tiempo de Fraguado Vicat :</b>			
Fraguado Inicial	min	179	Mínimo 45
Fraguado Final	min	358	Máximo 420
Expansión Barra de Mortero Edad 14	%	0.007	Máximo 0.020
Expansión por Sulfato Edad 6 meses	%	0.050	Máximo 0.10
Calor de Hidratación a 7 Días	Kcal/Kg	67	Máximo 70
<b>Opción R: Baja reactividad con agregados alcali-silíce reactivos :</b>			
Expansión a 14 días	%	0.016	Máximo 0.020
Expansión a 56 días	%	0.032	Máximo 0.060

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-06-2016 al 30-06-2016  
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Mayo 2016  
La expansión de la barra del mortero corresponde al mes de Mayo 2016  
La expansión por sulfatos a 6 meses corresponde al mes de Diciembre 2015  
El calor de hidratación corresponde al mes de Abril 2016  
Opción R corresponden la mes de Marzo 2016  
(\*) Requisito opcional.



Ing. Ivanoff V. Rojas Tello  
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

## **ANEXO C.7.**

### **HOJA TÉCNICA SIKACEM- 1 PLASTIFICANTE EN POLVO**



## HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

# SikaCem<sup>®</sup>-1 Plastificante en polvo

### PLASTIFICANTE PARA CONCRETO Y MORTERO

#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaCem-1 Plastificante en Polvo es un aditivo plastificante para mezclas de concreto, permite una reducción de agua de hasta 12%.

SikaCem-1 Plastificante en Polvo no contiene cloruros y no ejerce ninguna acción corrosiva sobre las armaduras.

#### USOS

SikaCem-1 Plastificante en Polvo está particularmente indicado para:

Todo tipo de mezclas de concreto o mortero que requiera reducir agua, mejorar la trabajabilidad (fluidez del concreto) o ambos casos para lograr reducir costos de: mano de obra, materiales (cemento) y/o tiempo, por ejemplo:

- Cimentaciones.
- Losas, pisos o techos.
- Columnas.
- Vigas.
- Veredas.
- Escaleras.
- Piscinas, tanques, cisternas.
- Entre otros

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

SikaCem-1 Plastificante en Polvo tiene las siguientes ventajas:

- Aumento de las resistencias mecánicas.
- Mejores acabados.
- Mayor adherencia al acero.
- Mejor trabajabilidad (fluidez) en el tiempo.
- Permite reducir hasta el 12% del agua de la mezcla.
- Aumenta la impermeabilidad y durabilidad del concreto.
- Facilita el bombeo del concreto a mayores distancias y alturas.
- Ayuda a reducir la formación de cangrejeras.

#### INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

<b>Empaques</b>	Bolsa x 1kg
<b>Vida Útil</b>	12 meses
<b>Condiciones de Almacenamiento</b>	En su envase original sellado y bajo techo en lugar fresco resguardado de heladas. .
<b>Densidad</b>	1,6 kg/L +/- 0,02

## INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

### Dosificación Recomendada

- 1 bolsa de SikaCem-1 Plastificante en Polvo por bolsa de cemento de 42.5 Kg

## INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

### DOSIFICACIÓN

Mezclar una bolsa de 1 kilo de SikaCem<sup>®</sup>-1 Plastificante en Polvo por bolsa de cemento y luego añadir los componentes restantes del concreto o mortero. Es importante mezclar bien el material seco antes de agregar el agua.

## DOCUMENTOS ADICIONALES

### PRECAUCIONES

Limpie todas la herramientas y equipos de aplicación con agua inmediatamente después de su uso. Los datos técnicos indicados en esta hoja técnica están basados en ensayos de laboratorio. Los datos reales pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE SikaCem<sup>®</sup>-1 Plastificante en polvo :

1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



## NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

## RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto

## ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

REGULACIÓN (EC) N° 1907/2006 - REACH

## NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A.C. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe). La presente edición anula y reemplaza la edición anterior, misma que deberá ser destruida.

## **ANEXO C.8.**

### **HOJA TÉCNICA SIKACEM-1 FIBER**



# HOJA TÉCNICA

## SikaCem<sup>®</sup>-1 Fiber

Fibra sintética para el refuerzo de concreto

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaCem<sup>®</sup>-1 Fiber, es un refuerzo de fibra sintética de alta tenacidad que evita el agrietamiento de concretos y morteros.  
SikaCem<sup>®</sup>-1 Fiber está compuesto por una mezcla de monofilamentos reticulados y enrollados.  
Durante la mezcla SikaCem<sup>®</sup>-1 Fiber se distribuye aleatoriamente dentro de la masa de concreto o mortero formando una red tridimensional muy uniforme.

#### USOS

- Losas de concreto (placas, pavimentos, veredas, techos, pisos, etc)
- Mortero y concreto proyectado (Shotcrete).
- Paneles de fachada.
- Elementos prefabricados.
- Revestimientos de canales.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

La adición de SikaCem<sup>®</sup>-1 Fiber sustituye a la armadura destinada a absorber las tensiones que se producen durante el fraguado y endurecimiento del concreto, aportando las siguientes ventajas:

- Reducción de la fisuración por retracción e impidiendo su propagación.
- Aumento importante del índice de tenacidad del concreto.
- Mejora la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad.
- En mayor cuantía, mejora la resistencia a la tracción y a la compresión.
- La acción del SikaCem<sup>®</sup>-1 Fiber es de tipo físico y no afecta el proceso de hidratación del cemento.

### DATOS BÁSICOS

#### FORMA

#### ASPECTO

Fibra

#### COLOR

Crema claro

#### PRESENTACIÓN

Caja con 18 bolsas x 100 g

<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL</b> Un año en un lugar seco y bajo techo, en envases bien cerrados.
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>DENSIDAD REAL APROX.</b> 1.17 kg/L <b>ABSORCIÓN DE AGUA</b> < 2% <b>MÓDULO DE ELASTICIDAD</b> 15,000 kg/cm <sup>2</sup> <b>ALARGAMIENTO DE ROTURA</b> 26% <b>RESISTENCIA A TRACCIÓN</b> 468 kg/cm <sup>2</sup> <b>RESISTENCIA QUÍMICA</b> Inerte a los álcalis del cemento, ácidos en general, agua de mar, residuos alimentarios y ganaderos, aceites vegetales. No se pudre y es resistente a hongos y bacterias. <b>DURABILIDAD</b> Indefinida <b>TRANSICIÓN VÍTREA</b> 310 °C <b>LONGITUD</b> 20 mm <b>NORMA</b> A los concretos a los que se agregado SikaCem <sup>®</sup> -1 Fiber cumplen con los requerimientos de la norma ASTM C 1116 <b>PRECAUCIONES</b> SikaCem <sup>®</sup> -1 Fiber no sustituye a las armaduras principales y secundarias resultantes del cálculo. La adición de SikaCem <sup>®</sup> -1 Fiber no evita las grietas derivadas de un mal dimensionamiento y aunque ayuda a controlarlo, no evita las grietas producto de un deficiente curado. La adición de SikaCem <sup>®</sup> -1 Fiber es compatible con cualquier otro aditivo de Sika.

## INFORMACIÓN DEL SISTEMA

<b>MÉTODO DE APLICACIÓN</b>	<b>MODO DE EMPLEO</b> Se agrega directamente a la mezcla de concreto o mortero. No disolver en el agua de amasado. <b>DOSIFICACIÓN</b> El SikaCem <sup>®</sup> -1 Fiber se empleará para todo tipo de concretos según: <ul style="list-style-type: none"> <li>1 bolsa x 100 g por cada bolsa de cemento de 42.5 Kg.</li> </ul>
-----------------------------	---

## **ANEXO D. PROPIEDADES DEL MORTERO**

### ANEXO D.1.

#### ENSAYO DE ASENTAMIENTO EN EL CONO DE ABRAHAMS

Muestra		Slump (pulg)	Promedio slump (mm)	Slump (mm)	Promedio Slump (mm)	Variación Slump (%)	Reducción slump (%)
Tipo	N						
MP	1	3	3	76.20	78.32	100	0
	2	3 1/4		82.55			
	3	3		76.20			
MCF3	1	2 1/2	2 1/2	63.50	63.50	81	19
	2	2 1/4		57.15			
	3	2 3/4		69.85			
MCF6	1	2	2	50.8	50.80	65	35
	2	2		50.8			
	3	2		50.8			
MCF9	1	1	1	25.40	27.52	35	65
	2	1		25.40			
	3	1 1/4		31.75			

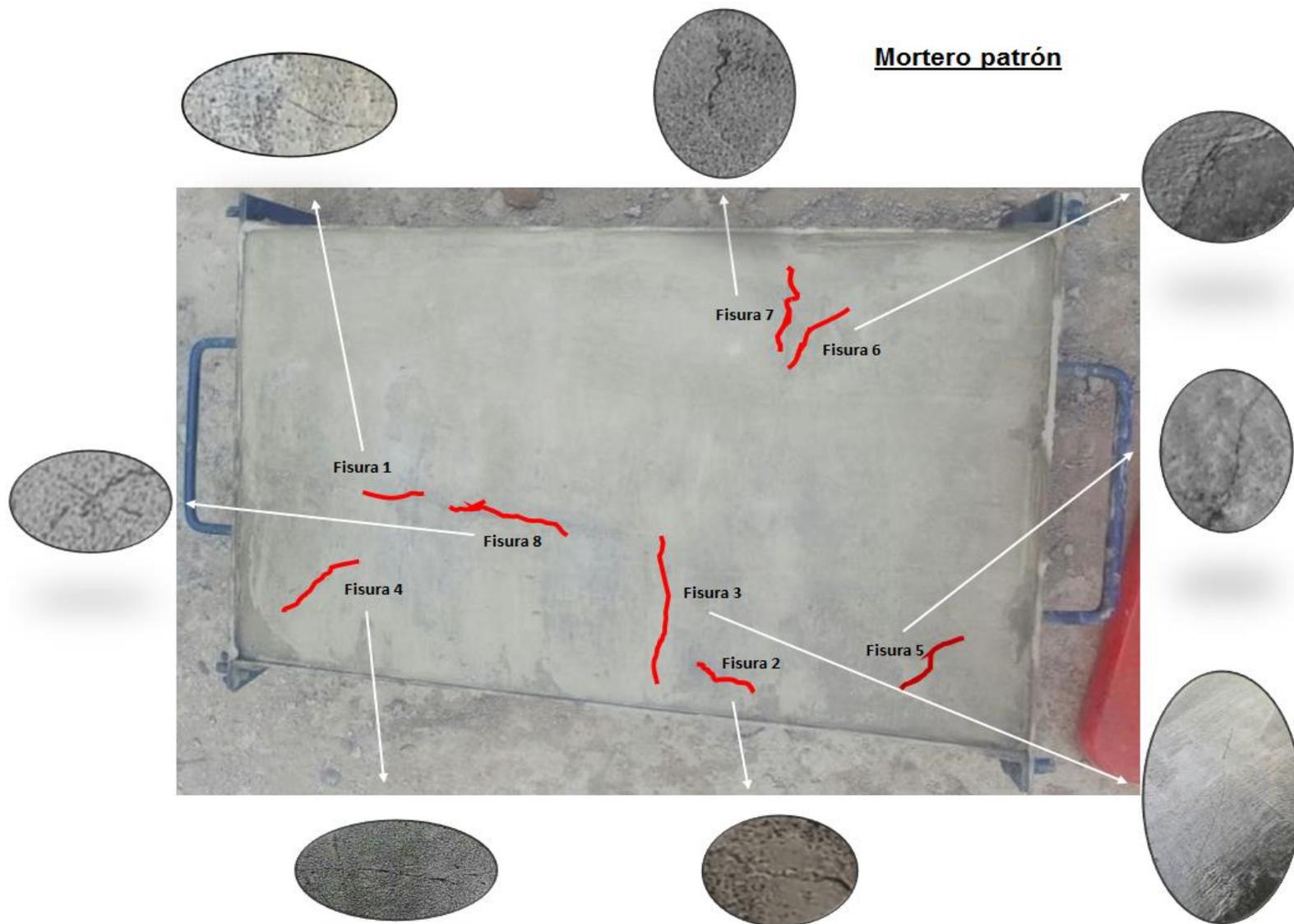
### ANEXO D.2.

#### ENSAYO DE TEMPERATURA

Muestra		Fecha /Hora	Temperatura
Tipo	N°		
MP	1	22-02-18/ 12:45 pm	28.0 °C
MCF3	2	22-02-18/ 03:15 pm	28.5 °C
MCF6	3	23-02-18/ 11:50 am	28.0 °C
MCF9	4	23-02-18/ 04:50 pm	29.0 °C

### **ANEXO D.3.**

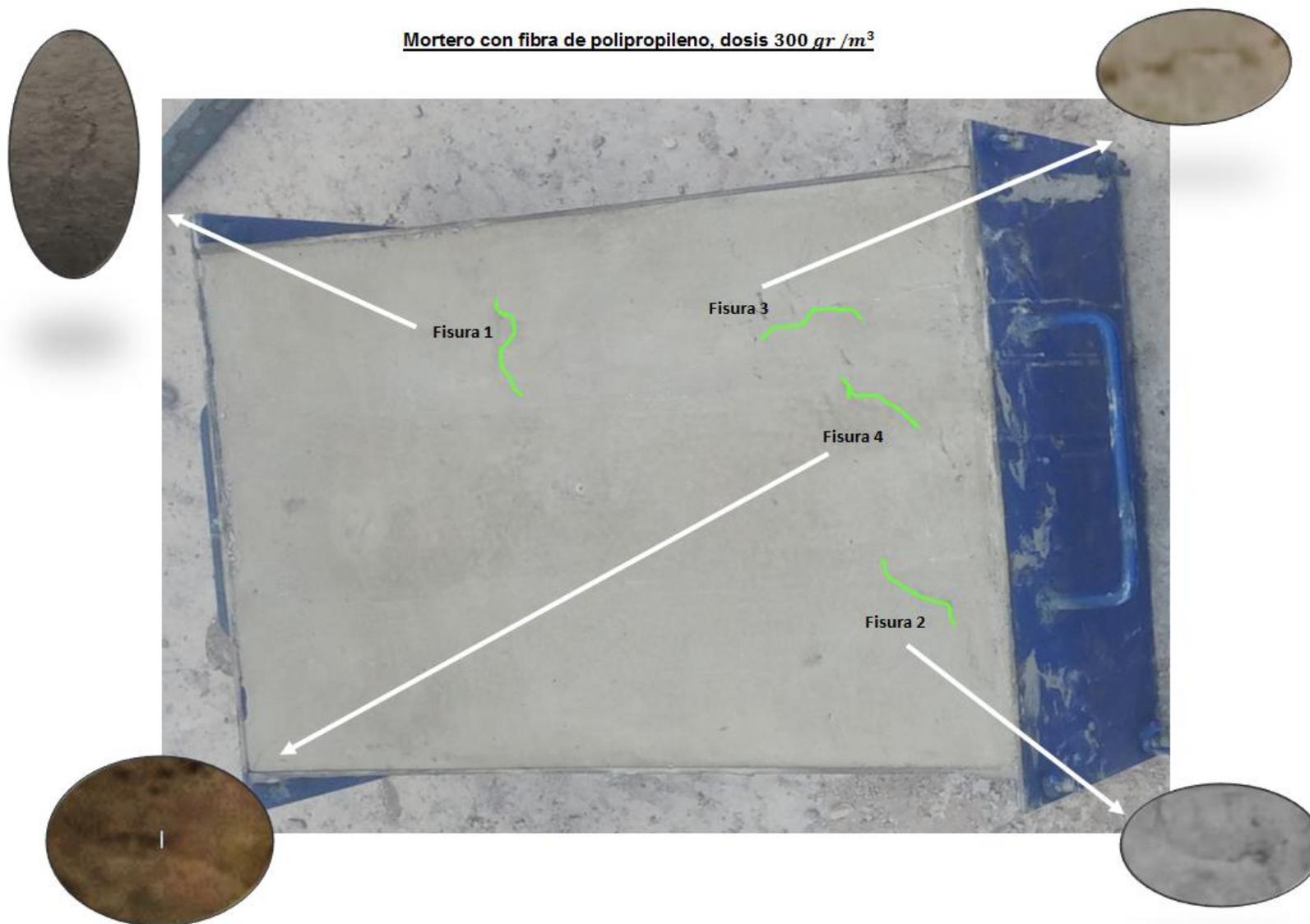
## **ENSAYO DE CONTRACCIÓN PLÁSTICA- REGISTRO DE FISURAS (MORTERO SIN FIBRAS)**



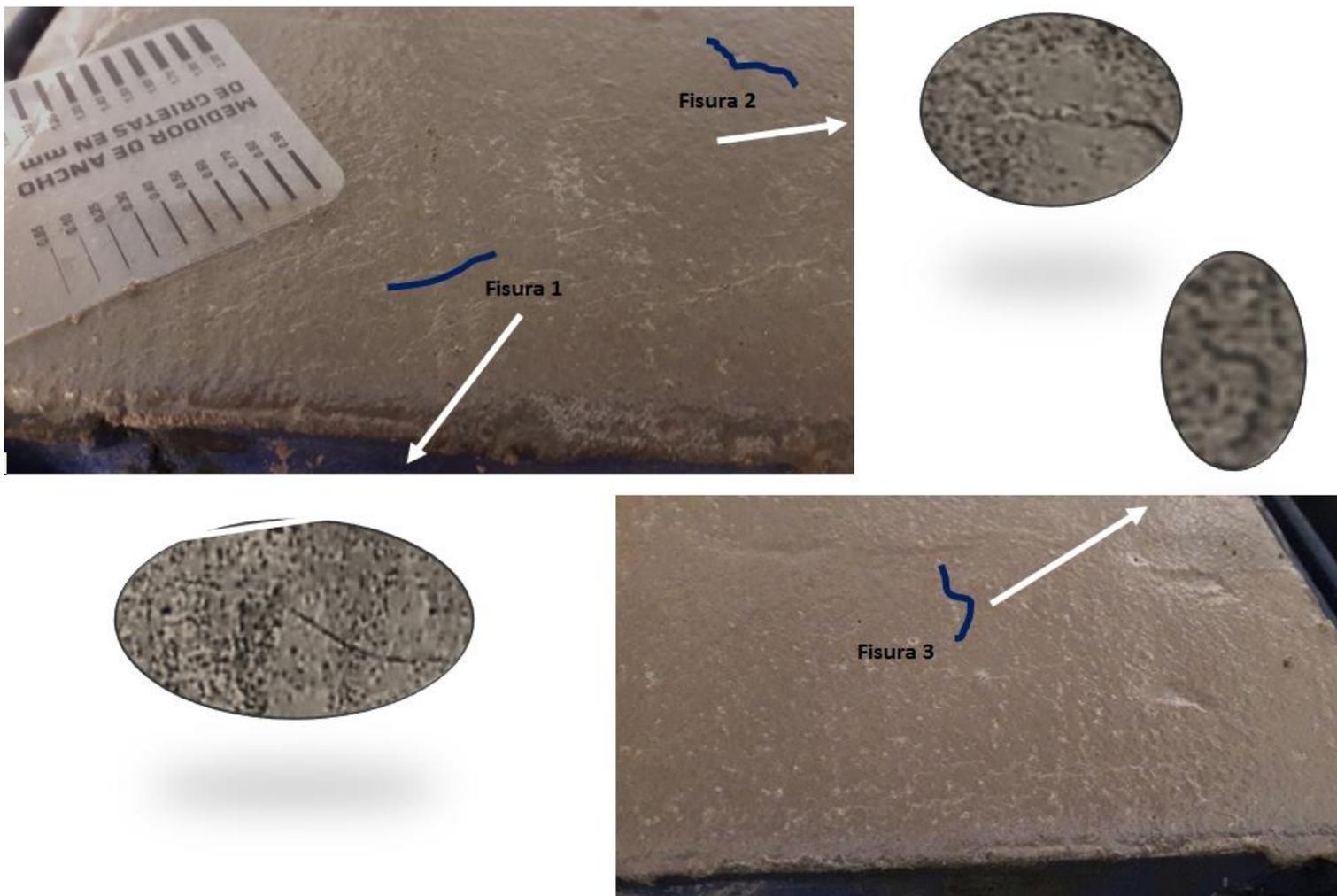
## **ANEXO D.4.**

### **ENSAYO DE CONTRACCIÓN PLÁSTICA- REGISTRO DE FISURAS (MORTERO CON FIBRAS)**

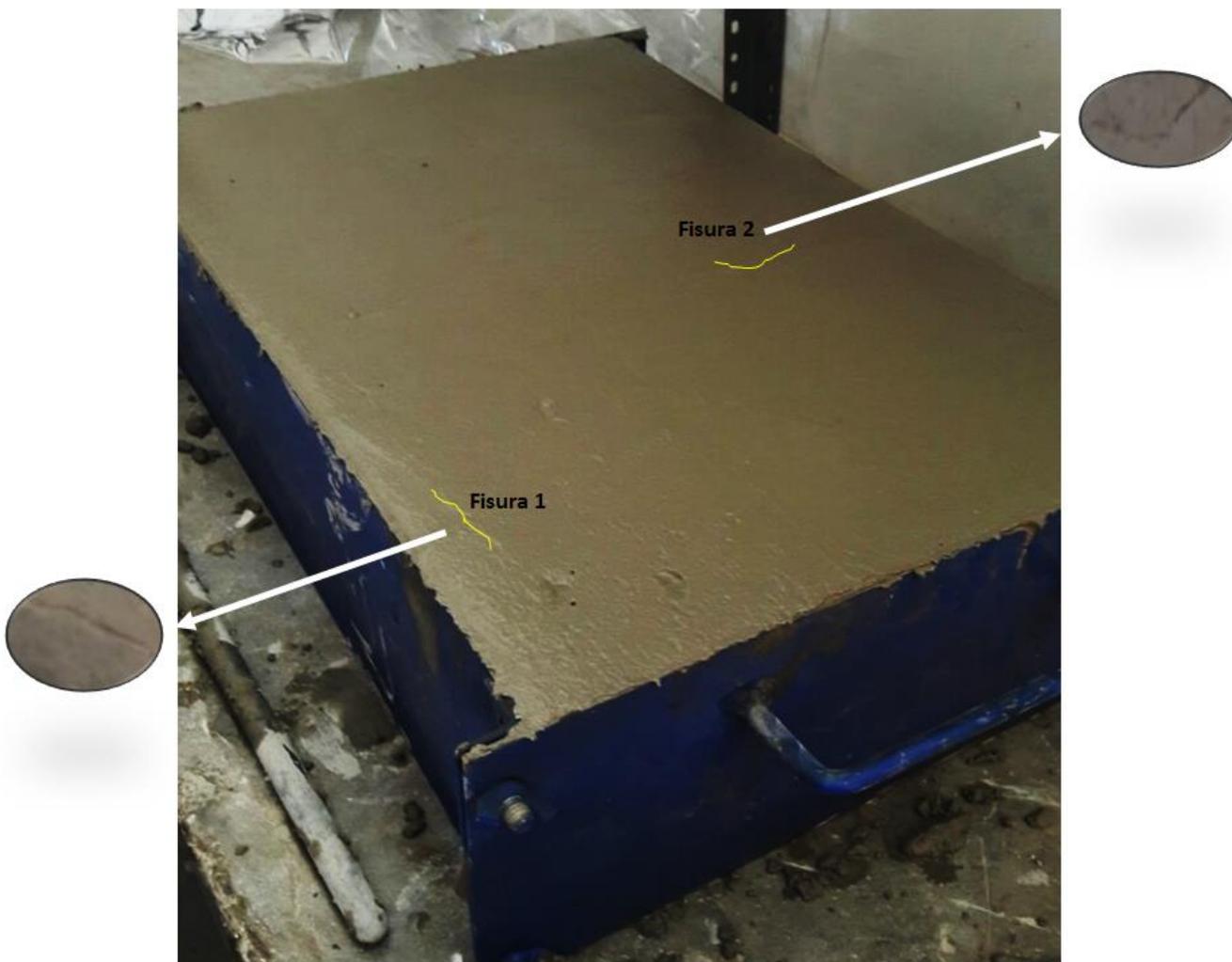
Mortero con fibra de polipropileno, dosis 300 gr /m<sup>3</sup>



**Mortero con fibra de polipropileno, dosis 600 gr /m<sup>3</sup>**



**Mortero con fibra de polipropileno, dosis 900 gr /m<sup>3</sup>**



### ANEXO D.5.

#### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MORTERO A LOS 7 Y 28 DÍAS

Dosis ( $gr/m^3$ )	Dimensiones		Área ( $cm^2$ )	Fuerza (kg)		Resistencia ( $kg/cm^2$ )	
	L ( $cm^2$ )	L ( $cm^2$ )		7 días	28 días	7 días	28 días
0	5	5	25	6582	7616	263	305
	5	5	25	7171	9347	287	374
	5	5	25	6384	9671	255	387
300	5	5	25	4792	9572	192	383
	5	5	25	5003	8230	200	329
	5	5	25	4739	8034	190	321
600	5	5	25	5812	7726	232	309
	5	5	25	5726	9839	229	394
	5	5	25	3971	8622	159	345
900	5	5	25	5231	9410	209	376
	5	5	25	5474	7825	219	313
	5	5	25	6358	9558	254	382

### ANEXO D.6.

#### RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL MORTERO, A LOS 7 Y 28 DÍAS

Dosis ( $gr/m^3$ )	Muestras	Dimensiones			Fuerza (N)		Resistencia a la flexión ( $kg/mm^2$ )		Resistencia a la flexión ( $kg/cm^2$ )	
		B (mm)	D (mm)	L (mm)	7 días	28 días	7 días	28 días	7 días	28 días
0	MP01	40	40	160	1823	2056	6.84	7.71	70	79
	MP02	40	40	160	1840	1964	6.90	7.37	70	75
	MP03	40	40	160	1921	1937	7.20	7.26	73	74
300	MCF3-1	40	40	160	1892	2169	7.10	8.13	72	83
	MCF3-2	40	40	160	1863	2144	6.99	8.04	71	82
	MCF3-3	40	40	160	1946	2072	7.30	7.77	74	79
600	MCF6-1	40	40	160	1873	1802	7.02	6.76	72	69
	MCF6-2	40	40	160	1724	1890	6.47	7.09	66	72
	MCF6-3	40	40	160	1803	1841	6.76	6.90	69	70
900	MCF9-1	40	40	160	1304	1825	4.89	6.84	50	70
	MCF9-2	40	40	160	1447	1751	5.43	6.57	55	67
	MCF9-3	40	40	160	1385	1694	5.19	6.35	53	65

## **ANEXO E. PANEL FOTOGRÁFICO**



Figura N° 29: Materiales más finos que pasan por el tamiz N°200 por lavado.



Figura N° 30: Análisis granulométrico del agregado fino



Figura N° 31: Contenido de humedad del agregado fino.

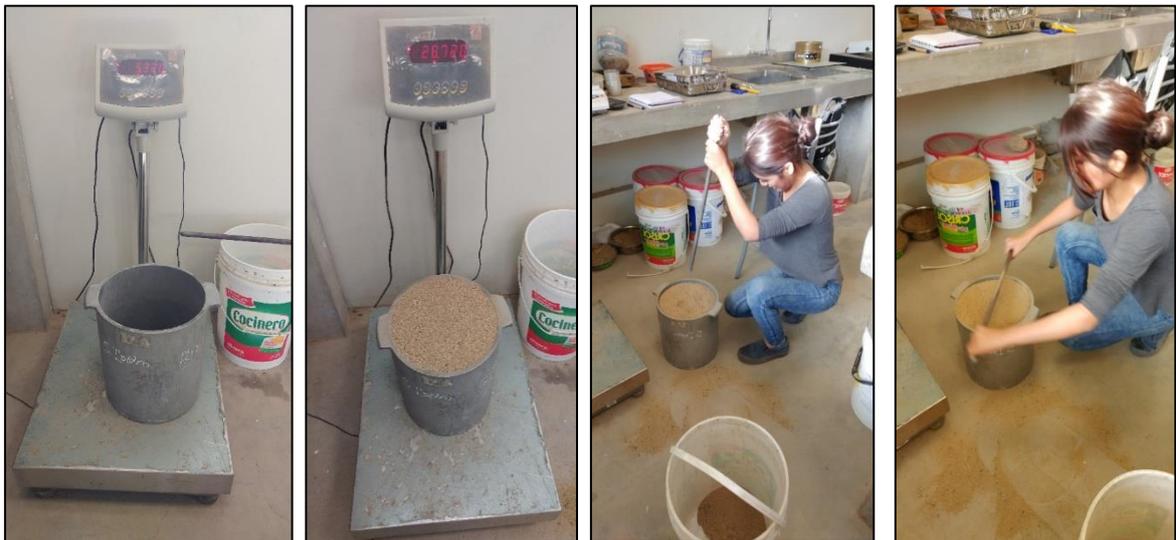


Figura N° 32: Peso unitario, suelto y compactado del agregado fino



**Figura N° 33:** Peso específico y absorción por método de la fiola



**Figura N° 34:** Fibra de polipropileno, Sika-Cem1 Fiber



**Figura N° 35:** Aditivo SikaCem-1 plastificante en polvo



Figura N° 36: Fisurómetro Sika. Medidor de ancho de fisuras.

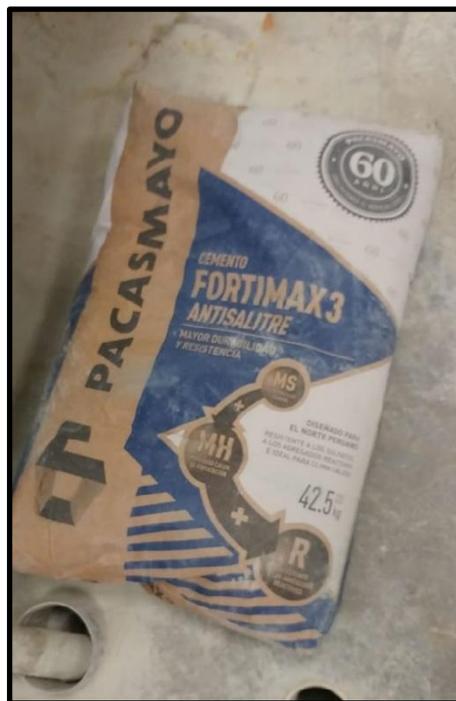


Figura N° 37: Cemento Pacasmayo Tipo Ms.



**Figura N° 38:** Moldes cúbicos de 50x50x50 mm para resistencia a la compresión



**Figura N° 39:** Probetas rectangulares de 40mmx40x160mm para resistencia a la flexión.



**Figura N° 40:** Paneles rectangulares de 56cmx36cmx11 cm para contracción plástica



**Figura N° 41:** Ensayo de asentamiento del mortero mediante el cono de Abrahams.



**Figura N° 42:** Conformación de paneles de mortero para ensayo de contracción plástica



**Figura N° 43:** Medición de la temperatura del mortero.



**Figura N° 44:** Cámara de ambiente controlado para el ensayo de contracción plástica



**Figura N° 45:** Conformación de probetas cúbicas y viguetas.



**Figura N°46:** Desmoldado de probetas cúbicas de 50x50x50 mm



**Figura N° 47:** Ensayo de resistencia a compresión de los morteros a los 7 y 28 días



**Figura N° 48:** Ensayo de resistencia a la flexión