



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL

**INFLUENCIA DEL PROCESO DE REHIDRATACIÓN DE LA  
RESISTENCIA DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE  
POLIPROPILENO POR EXPOSICIÓN AL FUEGO DIRECTO**

**PRESENTADA POR  
JUNIOR COBEÑAS TALLA**

**CRHISTIAN DIEGO JANAMPA CORIMANYA**

**ASESOR**

**JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARÍA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**LIMA – PERÚ**

**2019**



**CC BY-NC-SA**

**Reconocimiento – No comercial – Compartir igual**

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**USMP**  
UNIVERSIDAD DE  
SAN MARTÍN DE PORRES

**FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**INFLUENCIA DEL PROCESO DE REHIDRATACIÓN EN LA  
RESISTENCIA DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE  
POLIPROPILENO POR EXPOSICIÓN AL FUEGO DIRECTO**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR**

**COBEÑAS TALLA, JUNIOR**

**JANAMPA CORIMANYA, CHRISTIAN DIEGO**

**LIMA-PERÚ**

**2019**

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	13
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	15
1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	15
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.2.1 Problema general .....	16
1.2.2 Problemas específicos.....	16
1.3 OBJETIVOS.....	17
1.3.1 Objetivo general.....	17
1.3.2 Objetivo específicos.....	17
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	17
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	18
1.6 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.7 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 ANTECEDENTES .....	20
2.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
2.2.1 Antecedentes Internacionales .....	20
2.2.2 Antecedentes Nacionales .....	22
2.3 BASES TEÓRICAS.....	24
2.3.1 Temperatura .....	24
2.3.2 Incendio .....	26
2.3.3 Comportamiento del Concreto .....	277
2.3.4 Seguridad frente a fuego .....	39
2.3.5 Estado del Concreto después del Incendio .....	300
2.3.6 Nivel de Temperatura que alcanza un Incendio.....	32
2.3.7 Comportamiento del concreto con fibra .....	33
2.3.8 Efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas .....	34
2.3.8.1 Efecto de la temperatura en la resistencia a la compresión	34

2.4 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES .....	35
2.4.1 Agregados Pétreos .....	35
2.4.1.1 En estado fresco y fraguado .....	35
2.4.1.2 En estado endurecido .....	36
2.4.2 Propiedades Mecánicas del Concreto .....	37
2.4.2.1 Resistencia a la Compresión .....	37
2.4.2.2 Resistencia a la Tracción .....	38
2.4.2.3 Resistencia a la Flexión .....	39
2.4.3 Tipos de Agregados .....	40
2.4.3.1 Agregado Fino .....	40
2.4.3.2 Agregado Grueso .....	40
2.4.3.3 Agua .....	41
2.4.3.4 Fibra de Polipropileno .....	41
2.4.4 Propiedades Físicas de los Agregados .....	43
2.4.3.1 Peso Unitario .....	43
2.4.3.2 Peso Unitario Compactado .....	44
2.4.3.3 Peso Específico .....	44
2.4.3.4 Módulo de Fineza .....	44
2.4.5 Método de Diseño de Mezcla .....	44
2.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	455
2.6.1 Hipótesis general .....	455
2.6.2 Hipótesis específicas .....	455
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	46
3.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	46
3.2 TIPO DE LA INVESTIGACIÓN .....	47
3.3 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN .....	47
3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	47
3.4.1 Variable Independiente .....	47
3.4.2 Variable Dependiente .....	47
3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	48
3.5.1 POBLACIÓN .....	48
3.5.2 MUESTRA .....	48

3.6 TÉCNICA Y RECOLECCIÓN DE DATOS	48
3.7 DESARROLLO O PROCESO.....	49
3.7.1 Diseño de mezcla de concreto.....	49
3.7.1.1 Selección de Materiales.....	49
3.7.2 Caracterización de los Materiales (Piedra y Arena) .....	49
3.7.2.1 Granulometría de los Agregados.....	50
3.7.2.2 Peso Unitario Seco Suelto Arena Gruesa y Piedra .....	51
3.7.2.3 Peso Unitario Seco Compactado Arena Fina y Piedra .....	53
3.7.2.4 Porcentaje de Humedad.....	54
3.7.2.5 Porcentaje de Absorción .....	55
3.7.2.6 Peso específico final de los agregados .....	56
3.7.3 Cálculo de Diseño de Mezcla .....	57
3.7.3.1 Elección de la Resistencia Promedio .....	57
3.7.3.2 Contenido de Aire.....	57
3.7.3.3 3 Elección del Asentamiento (Slump) .....	58
3.7.3.4 Estimación del Agua de Mezclado y Contenido de Aire .....	59
3.7.3.5 Elección de la relación agua/cemento (a/c) .....	59
3.7.3.6 Cálculo del contenido de Cemento.....	60
3.7.3.7 Estimación del contenido de agregado grueso.....	61
3.7.3.8 Volúmenes Absolutos.....	62
3.7.3.9 Peso de Agregado Fino.....	63
3.7.3.10 Presentación del Diseño en estado seco.....	63
3.7.3.11 Corrección por humedad de los Agregados .....	64
3.7.3.12 Aporte de Agua a la Mezcla.....	64
3.7.3.13 Proporcionamiento de Diseño .....	66
3.7.4 Elaboración de las muestras de concreto patrón reforzados .....	66
3.7.4.1 Probetas de concreto patrón y reforzadas.....	66
3.7.4.2 Vigas de concreto convencional y reforzadas .....	66
3.7.5 Proceso de quemado y rehidratación de los testigos.....	68
3.7.5.1 Herramientas para el quemado y rehidratación.....	68
3.7.5.2 Quemado y rehidratación de los testigos .....	70
3.7.6 Rotura de Probetas y Vigas.....	74
3.7.6.1 Proceso de Rotura de Probetas y Vigas .....	74

CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....	76
4.1 RESISTENCIA DE PROBETAS PATRÓN Y CON REFUERZO DE FIBRA DE POLIPROPILENO .....	76
4.2 RESISTENCIA DE PROBETAS EXPUESTAS AL FUEGO Y REHIDRATACIÓN DEL CONCRETO CONVENCIONAL Y REFORZADO ..	77
4.2.1 Resistencia a la Compresión .....	78
4.2.2 Resistencia a Tracción .....	82
4.2.3 Resistencia a Flexión.....	85
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN .....	89
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	95
FUENTES DE INFORMACIÓN .....	97
ANEXOS .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comportamiento del concreto sometido a diferentes temperaturas ....	29
Tabla 2 Tamizado de los Agregados .....	51
Tabla 3 Cálculo de Volumen de Molde.....	51
Tabla 4 Peso Unitario Seco Suelto Arena Fina y Gruesa.....	52
Tabla 5 Peso Unitario Seco Compactado Arena Fina y Gruesa.....	54
Tabla 6 Porcentaje de Humedad.....	55
Tabla 7 Porcentaje de Absorción .....	56
Tabla 8 Peso Específico de los agregados .....	56
Tabla 9 Propiedades físicas de los agregados.....	57
Tabla 10 Resistencia Promedio.....	57
Tabla 11 Contenido de Aire Atrapado .....	58
Tabla 12 Tabla de Asignación de Asentamiento con relación al tipo de construcción .....	58
Tabla 13 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido.....	59
Tabla 14 Correspondencia entre relación A/C y la resistencia a la compresión Promedio.....	60
Tabla 15 Volumen de Agregado grueso por volumen unitario de concreto .....	61
Tabla 16 Probetas Patrón .....	76
Tabla 17 Resistencias de Probetas reforzado con fibra de polipropileno .....	77
Tabla 18 Resistencia de Promedios a Compresión.....	78
Tabla 19 Resistencia de Promedios a Compresión.....	80
Tabla 20 Resistencias promedios a Tracción.....	82
Tabla 21 Resistencias promedios a Tracción.....	84
Tabla 22 Resistencias Promedios a Flexión .....	85
Tabla 23 Resistencias promedios a Flexión.....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tetaedro del Fuego .....	27
Figura 2 Torre GreenFell.....	28
Figura 3 Edificio de la Television Central de Beijing.....	31
Figura 4 Tipo de Incendios.....	32
Figura 5 Reistencia Media a la Compresión.....	37
Figura 6 Relación entre la Resistencia a la Compresión y la Resistencia a la Tracción.....	38
Figura 7 Métodos de ensayo de Flexión.....	39
Figura 8 Propiedades Técnicas de las fibras de polipropileno .....	42
Figura 9 Selección de Materiales .....	49
Figura 10 Normas Utilizadas de informacion para la investigación .....	50
Figura 11 Cálculo de Peso Unitario Seco Suelto Arena Fina y Piedra .....	52
Figura 12 Cálculo de Peso Unitario Seco Compactado Arena Fina y Piedra ...	54
Figura 13 Cálculo de Porcentaje de Humedad.....	55
Figura 14 Cálculo de Porcentaje de Absorción .....	56
Figura 15 Probetas de Concreto Patrón y Reforzadas.....	66
Figura 16 Probetas de Concreto Patrón y Reforzadas.....	67
Figura 17 Probetas de Concreto Patrón y Reforzadas.....	67
Figura 18 Vigas de Concreto Convencional y Reforzadas .....	68
Figura 19 Herramientas de quemado y rehidratación .....	69
Figura 20 Herramientas de quemado y rehidratación .....	69
Figura 21 Herramientas de quemado y rehidratación .....	69
Figura 22 Preparacion de los Testigos de Compresión para el quemado correspondiente.....	70
Figura 23 Preparación de los Testigos de Tracción para el quemado correspondiente.....	71
Figura 24 Quemado de Testigos para sus respectivos ensayos .....	72
Figura 25 Quemado de Testigos para sus respectivos ensayos .....	72
Figura 26 Quemado y rehidratación de Testigos para sus respectivos ensayos .....	73
Figura 27 Quemado y rehidratación de Testigos para sus respectivos ensayos .....	73
Figura 28 Rotura de Probetas en cada uno de sus ensayos.....	74
Figura 29 Rotura de Probetas en cada uno de sus ensayos.....	75
Figura 30 Rotura de Probetas en cada uno de sus ensayos.....	75
Figura 31 Concreto convencional expuesto al fuego directo .....	79
Figura 32 Concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego directo .....	79
Figura 33 Concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego directo y rehidratacion.....	80

Figura 34 Pérdida de Resistencia .....	80
Figura 35 Pérdida de Resistencia en porcentaje .....	81
Figura 36 Concreto convencional expuesto al fuego directo .....	81
Figura 37 Concreto convencional con fibra de polipropileno expuesto al fuego directo .....	82
Figura 38 Concreto Reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego y con rehidratación .....	83
Figura 39 Pérdida de resistencia $F'c$ .....	83
Figura 40 Pérdida de resistencia en porcentaje .....	84
Figura 41 Concreto convencional expuesto al fuego directo .....	85
Figura 42 Concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego directo .....	86
Figura 43 Concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego directo y con rehidratación .....	87
Figura 44 Pérdida de resistencia $F'c$ .....	88
Figura 45 Perdida de resistencia en porcentaje .....	88
Figura 46 Pérdida de resistencia a traccion del concreto conveccional y concreto reforzado con fibra de polipropileno por exposición al fuego .....	90
Figura 47 Pérdida de resistencia a tracción del concreto conveccional y concreto reforzado con fibra de polipropileno por exposición al fuego .....	90
Figura 48 Pérdida de resistencia a compresión del concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego y al proceso de rehidratación .....	91
Figura 49 Pérdida de resistencia a tracción del concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego y al proceso de rehidratación .....	92
Figura 50 Pérdida de resistencia a flexión del concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego y al proceso de rehidratación .....	93

## PALABRAS CLAVES

<b>A/c</b>	Relación del peso de agua y cemento
<b>CPF</b>	Concreto patrón con fibra
<b>P.U.S</b>	Peso Unitario Suelto
<b>P.U.C</b>	Peso Unitario Compactado
<b>Slump</b>	Medida de la consistencia, asentamiento
<b>AF/AG</b>	Relación entre el agregado fino y agregado grueso
<b>F'c</b>	Resistencia a la compresión
<b>T</b>	Resistencia a la tracción
<b>F</b>	Resistencia a la Flexión
<b>MR</b>	Módulo de Rotura
<b>T / f'c</b>	Relación entre la resistencia a la Tracción y Compresión
<b>PP</b>	Probeta de 10x20cm de tamaño
<b>PG</b>	Probeta de 15x30cm de tamaño
<b>P01</b>	Zona de la muestra no expuesta al fuego directo
<b>P02</b>	Zona de la muestra expuesta al fuego directo
<b>EC</b>	Ensayos de compresión
<b>ET</b>	Ensayos de tracción
<b>EF</b>	Ensayos de flexión
<b>CPO1-0.50</b>	Muestra Patrón sin fibra de $a/c=0.50$ , sin exposición al fuego
<b>CPO1- 2</b>	Muestra sin fibra de $a/c=0.50$ y 2 horas de exposición al fuego
<b>CPO1- 3</b>	Muestra sin fibra $a/c=0.50$ y 3 horas de exposición al fuego y 25 min rehidratación.
<b>CPO1- 4</b>	Muestra sin fibra de $a/c=0.50$ y 2 horas de exposición al fuego y 25 min rehidratación.
<b>CPO1- 5</b>	Muestra sin fibra $a/c=0.50$ y 3 horas de exposición al fuego
<b>CPO2-0.50</b>	Muestra Patrón con fibra de $a/c=0.50$ , sin exposición al fuego
<b>CPO2-2</b>	Muestra con fibra de $a/c=0.50$ y 2 horas de exposición al fuego
<b>CPO2-3</b>	Muestra con fibra de $a/c=0.50$ y 3 horas de exposición al fuego

## AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a nuestros asesores, el Ing. Aybar Gustavo y al Mg. Juan Manuel Oblitas Santa María, profesionales con amplia experiencia y guía de conocimientos. Asimismo, a los responsables del laboratorio de nuestra Facultad y Alma máter por permitirnos llevar a la praxis nuestro estudio, facilitándonos los ambientes y equipos de laboratorios. De igual modo, al equipo técnico donde realizamos la investigación y por denodado apoyo. A nuestra Alma Máter por contribuir en nuestra formación profesional.

Y sobre todo un agradecimiento especial a cada uno de nuestros padres, por conformar una linda familia de la cuales nos sentimos orgullosos y por el apoyo que nos brindaron en cada etapa de nuestra vida y en nuestro proceso de crecimiento profesional, por sus sacrificios y su cariño. A todas las personas que nos motivaron para concluir la tesis y consumir nuestros anhelos profesionales, que es obtener nuestro título profesional en Ingeniería Civil

## RESUMEN

El presente estudio se enfocó en una metodología sustentada en un diseño experimental, donde se analizó la influencia del proceso de rehidratación en la resistencia del concreto reforzado con fibra de polipropileno por exposición al fuego y así poder hacer un análisis comparativo frente al concreto convencional que ha sido expuesto a fuego directo.

Para la obtención del producto se consiguió los materiales en las canteras de UNICOM y con cemento tipo I. En consecuencia, se realizó la caracterización de estos agregados para hacer un diseño de mezcla en el laboratorio de nuestra Facultad.

Luego de tener la población de concreto reforzado con fibra, se procedió a escoger y distinguir las muestras para el proceso de quemado y de rehidratación. Para el proceso de quemado se utilizó dos sopletes de gas propano para poder controlar las temperaturas y homogenizar. El control de las temperaturas se realizó mediante un pirómetro digital que permite tomar la temperatura en el instante con la ayuda de infrarrojo; para el proceso de rehidratación se procedió de dos maneras: la primera expuesto al ambiente natural por un periodo de 24 horas, la segunda, exponiendo las muestras quemada al contacto directo con agua por un periodo de 25 minutos.

Finalmente, luego de haber expuesto las muestras a distintas variaciones de temperaturas y periodos de tiempo se pasó por las pruebas de compresión, tracción y flexión y se analizó la variación y relación entre la temperatura y tiempo con respecto a la resistencia obtenida de las muestras de concreto reforzadas con fibra de polipropileno.

## ABSTRACT

The present research presents an experimental design, where the influence of the rehydration process on the resistance of concrete reinforced with polypropylene fiber by exposure to fire will be analyzed and thus be able to make a comparative analysis against conventional concrete that has been exposed to direct fire.

For the elaboration of the concrete reinforced with polypropylene fiber, the aggregates of the Unicom quarries and with type I cement have been achieved, consequently the characterization of these aggregates has been made to make a mix design in the laboratory of the Faculty.

After having the concrete population reinforced with fiber, we proceed to choose and distinguish the samples for the process of burning and rehydration, for the burning process has been used two propane gas torches to control temperatures and homogenize, the Temperature control was done using a digital pyrometer that allows you to take the temperature at the instant with the help of infrared; For the rehydration process, the first one was exposed to the natural environment for a period of 24 hours, the second is exposing the burned samples to direct contact with water for a period of 25 minutes.

Finally, after having exposed the samples to different temperature variations and periods of time, they will undergo compression, traction and bending tests in the laboratory and we will analyze the variation and relationship between the temperature and time with respect to the strengths obtained from the concrete samples reinforced with polypropylene fiber.

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene la necesidad de investigar más a fondo el efecto que tiene el concreto en contacto directo al fuego y añadirle un tipo de fibra que haga que el concreto tenga una mejora resistencia en comparación de un concreto convencional.

Sabido es que ha aumentado los eventos de siniestros que afectan demasiado la estructura de diversas construcciones. Se tiene referencia de información de cómo afecta las altas temperaturas al concreto, pero la mayor parte está alejada de la realidad de un siniestro eventual como es el caso de un incendio. Razón por el cual este estudio ha desarrollado una simulación de un incendio mediante un contacto directo del fuego a las probetas experimentales, y tomar lecturas de las temperaturas alcanzadas mediante un Pirómetro que es un termómetro laser infrarrojo digital que mide y monitorea las temperaturas durante todo el estudio de maneras más eficiente.

El estudio ha consignado seis capítulos. Con respecto al primero, el planteamiento del problema, formulación del problema, objetivo general y específicos, justificación del estudio.

En el segundo capítulo se presentan los fundamentos teóricos con los antecedentes de la investigación tanto internacionales como nacionales, las bases teóricas y el marco conceptual.

En el tercer capítulo, la metodología de la investigación, tipo, diseño, operacionalización de las variables, población y muestra. Asimismo, la hipótesis general y específica.

En el cuarto capítulo, la descripción, identificación de la naturaleza y diseño de la investigación. Se incluyen técnicas y procedimientos empleados en el estudio.

En el quinto capítulo, los hallazgos principales del estudio con su respectiva explicación y análisis profundo.

En el último, el análisis e interpretación de los resultados en correspondencia con las bases teóricas, los criterios del autor y los resultados de otros investigadores.

Finalmente, las conclusiones y recomendaciones, así como las fuentes bibliográficas.

En el último, el análisis e interpretación de los resultados en correspondencia con las bases teóricas, los criterios del autor y los resultados de otros investigadores.

Finalmente, las conclusiones y recomendaciones, así como las fuentes bibliográficas.

## CAPÍTULO I:

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En los últimos años mundialmente se registran una alarmante cantidad de incendios las cuales aumenta cada vez y a gran escala, las principales causas en general de los incendios son: la falta de conocimientos básicos en prevención de riesgos entre los incendios de mayor intensidad y que han causado un mayor impacto de desastre son: Edificio Joelma (25 pisos) en Sao Paulo – Brasil, Torre Gren Fell (24 pisos) en Londres – Inglaterra, Hotel Address Downtown (63 plantas) en Dubai – Emiratos Arabes, Residencial de Centro de Shangay (28 Pisos) en Shangay – China.

En nuestro país, específicamente nuestra capital, hemos sido testigo de los accidentes a causa de incendios de gran magnitud que afectan en gran masa las estructuras y materiales las cuales se encuentran dentro de estas. Se tiene como recuerdo uno de los grandes siniestros de la capital fue en Mesa Redonda, ocurrido en el año 2001, el cual, dejó una gran cantidad de muertos. La alta temperatura de este incendio osciló entre los 1000 °C – 1200 °C que tuvo como consecuencia que las víctimas sufrieran demasiado con un final muy trágico.

Otro de los siniestros que es muy recordado, suscitó recientemente en una de las galerías de Las Malvinas, este incendio causó daños mayores y pérdidas tanto en lo material, estructural y humano. La temperatura promedio que alcanzó este hecho lamentable fue de 900 °C.

Es por ello que a raíz de estos acontecimientos nefastos se hizo una investigación bibliográfica acerca del daño que puede ocasionar el fuego en todo tipo de construcción y así buscar una alternativa de solución, en la cual, se pueda obtener una muestra

de estructura de concreto combinada con fibra sintética y luego de un proceso de rehidratación tenga una resistencia que permita que la estructura no sea inservible y por ende, inhabitable y que se tenga que demoler.

Esta investigación se realiza para evaluar el comportamiento del concreto reforzado con fibra de polipropileno sometido a fuego directo simulando un incendio, para poder así obtener una relación que hay entre la resistencia del concreto y también la temperatura que alcanza el incendio, según la norma ASTM 119 dicha resistencia se alcanzará con fibra de polipropileno con relación  $a/c=0.50$ .

## 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.2.1 Problemas General

¿Cómo influye el proceso de rehidratación en la resistencia del concreto reforzado con fibra de polipropileno por exposición al fuego directo?

### 1.2.2 Problemas Específicos

- i. ¿Cómo influyen las fibras de polipropileno en el concreto frente a la exposición del fuego directo?
- ii. ¿Cuánto es la resistencia a compresión, tracción y flexión del concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto a fuego directo?
- iii. ¿Cuánto es la resistencia a compresión, tracción y flexión del concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto a fuego directo y al proceso de rehidratación?
- iv. ¿Cómo se relaciona el cambio de temperaturas en el concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego y al proceso de rehidratación con la variación de la resistencia?

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivos General

Analizar la influencia del proceso de rehidratación en el concreto reforzado con fibra de polipropileno por exposición al fuego por medio de la resistencia mecánica.

### 1.3.2 Objetivo Específicos

- i. Determinar la influencia de las fibras de polipropileno en el concreto por exposición al fuego.
- ii. Determinar la resistencia a compresión, tracción y flexión del concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego por medio de pruebas mecánicas.
- iii. Determinar la resistencia a compresión, tracción y flexión del concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego y al proceso de rehidratación por medio de pruebas mecánicas.
- iv. Determinar la relación del cambio de temperaturas en el concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego y al proceso de rehidratación con la variación de la resistencia.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

En este estudio se tiene una importancia Socio-Económica e Informativa.

En el aspecto Socio-Económico se tiene como objetivo proponer la evolución del comportamiento del concreto reforzado con fibra de polipropileno después del estado de rehidratación por la exposición al fuego en el cual se

presentarán resultados más claros del estado mecánico y físico del concreto después de un incendio.

En la parte informativa sirve para tener una base de información sobre futuros siniestros donde se podrá brindar datos sobre la magnitud de daño que tiene el concreto a simple vista y las cuales se puede corroborar y determinar mediante daños físicos.

Se busca aportar también a través de un análisis que permite su evaluación después del estado de rehidratación y sin estado de rehidratación, todo esto, debido a la exposición al fuego. En ese sentido, se busca demostrar que, con la ayuda de la fibra, la resistencia del concreto no disminuiría altamente a comparación de un concreto sin fibra, y además también se busca analizar cómo queda el concreto después de un estado de rehidratación, en otras palabras, se quiere analizar en cuanto varía la resistencia del concreto luego de un estado de rehidratación.

Generalmente para las empresas privadas, las instituciones públicas y para algún tipo de construcción se necesitan tener conocimientos por algún nuevo producto que sea beneficioso al concreto, más resistentes, con mejores características en el proceso constructivo. Una de la principal razón que se busca demostrar en esta investigación es evaluar en cuánto varía la resistencia del concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego y con estado de rehidratación frente a un concreto convencional.

## 1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

Se orienta a evaluar la implementación de las fibras de polipropileno como material que llegue a mejorar la resistencia del concreto frente a un siniestro. Todo esto se podrá determinar mediante los ensayos que hacen de las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

La limitación es la clasificación del tipo de fibra que existe en el mercado, ya que no se tiene esencialmente una base teórica sobre lo que es la mezcla

de fibra de polipropileno con el concreto y cómo reacciona esto frente a un siniestro.

## 1.6 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

En el proceso del desarrollo se pudo obtener un resultado sobre la viabilidad de la investigación y cuál es el proceso de desarrollo tanto en lo práctico y en lo económico. Además, se presenta una información sobre antecedentes, las cuales coadyuvó como guía para mejorar el estudio, y también, para la sociedad.

## 1.7 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Se planteó inicialmente hacer el estudio de las propiedades físicas y mecánicas del concreto en estado endurecido reforzado con fibra de polipropileno comercialmente llamado “Chema Fibra Ultrafina” frente al contacto directo, y al estado de rehidratación.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES

Para obtener información y tener una guía al respecto de desarrollo de esta tesis, hay varios estudios en las cuales se determina el comportamiento del concreto al contacto con el fuego, además, se presentan artículos donde nos explica cómo es que influyen cualquier tipo de fibras mezclado con el concreto, entre los que destacan son: Instituto Mexicano de Cemento y Concreto (IMCYC), la cual estudia la forma específica del comportamiento de las fibras en el concreto y cómo es que actúa frente a una eventualidad en caso de incendio.

### 2.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

#### 2.2.1 Antecedentes Internacionales

**Alvarado Aguirre, Giovanni Josue (2016) con su tesis “Estudio del comportamiento del concreto estructural expuesto al fuego” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.**

Se investigó el efecto sobre la resistencia a la flexión. Se realizó dos tipos de muestras para comparar, una para poder exponerla frente al fuego y hacerle la resistencia a la flexión y la otra no exponerla al fuego y proceder al mismo ensayo. Las expuestas al fuego están con intervalos de aumento de temperatura cada 30 minutos, luego se pudo visualizar los resultados del ensayo de flexión donde se mostró que la resistencia baja en relación en a la temperatura. Cada probeta presentó como resultados fisuras, agrietamientos y cambios de color.

**Cruz Hernández R.A (2015) “Physical and Mechanical Characterization of Concrete Exposed to Elevated Temperatures by Using Ultrasonic pulse Velocity”. Universidad de Antioquia, Colombia.**

Se llevó a cabo el experimento con cargas de fuego para evaluar las propiedades físicas y mecánicas en concreto sin reforzar. Se utilizó prototipos cilíndricos para someterlos a diferentes temperaturas dentro de una mufla; mientras que los cúbicos, a llama directa usando la curva estándar ISO 834. Las cargas térmicas se aplicaron hasta alcanzar una determinada temperatura la cual fue mantenida durante 60 minutos. Se concluyó que los resultados mostraron que el método de la velocidad de pulso ultrasónico es apropiado para la evaluación de la resistencia a la compresión y las propiedades micro-estructurales del concreto después de ser expuesto a fuego.

**Antillon, Jorge (2016) “Uso de fibras como refuerzo del hormigón”. (Artículo). Instituto Mexicano de Concreto y Cemento”, México.**

En este artículo el autor explica cómo es que está ligado el empleo de las fibras como refuerzo del concreto para que reduzca las fisuraciones por asentamiento, por reducción plástica, disminución a la permeabilidad e incrementar la resistencia a la abrasión y al impacto.

Asimismo, se muestran las características de las fibras para la práctica correcta en el concreto endurecido como:

- Las fibras deben tener un alto módulo de elasticidad
- La cantidad de fibra que se utilizará tiene que ser el adecuado para la mezcla.
- Se debe tener de conocimiento que entre la fibra y la matriz debe de haber una buena adherencia de estos.

La funcionalidad de las fibras utilizadas en el concreto va dependiendo, según la dosificación especificada, la ficha técnica y la norma indicada, todo esto va a depender de la adherencia que tenga la fibra con los agregados.

Existen 2 tipos de fibras las cuales son: Microfibras y Macrofibras. Entre las características de las microfibras, fibras de plástico, entre ellas se tiene las fibras de nylon, estas tienen como consecuencia disminuir la segregación de la mezcla de concreto y la formación de fisuras durante el proceso constructivo. Mientras que las macrofibras pueden hacer que la tenacidad del concreto aumente y hace que se pueda agregar material con capacidad de carga posterior al agrietamiento.

Entre sus principales características de la utilización de este tipo de fibras se tiene que tener un alto nivel de resistencia al impacto y la fatiga.

### 2.2.2 Antecedentes Nacionales

**Huincho Salvatierra, Mark (2017). “Evaluación de resistencia mecánica del concreto sometido a altas temperaturas por incidencia del fuego directo”. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.**

El proceso fue cómo sometiendo el fuego directo a un tipo de concreto tradicional con cemento portland tipo I, mezcla agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70 y cantidades de agua que garanticen un óptimo rendimiento del concreto. El prototipo utilizado se cimentó en el Peso Unitario Compactado Máximo de la mezcla de los agregados obteniendo resultados de mediana resistencia y de una consistencia entre 3 a 4 pulgadas. Para la evaluación y medición de la temperatura se utilizó, en primera instancia, un

termómetro infrarrojo digital que lo registró con mayor precisión y estimación de tiempo real en diversos puntos de la superficie. Con respecto al aislamiento del calor y obtener su homogeneidad se diseñó y construyó, específicamente para esta prueba, un horno de forma cilíndrica con capacidad por tanda de ensayo de hasta 15 muestras de 4" x 8" o 6 muestras de 6"x12" de tamaño. El material que se usó como combustible fue la madera reciclada como forma de prevención del medio ambiente.

**Castro Tomás, Fidel Matias (2009). "Efectos de la fibra de polipropileno en concretos con cemento portland tipo V", Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.**

Nos explica cuál es el efecto del polipropileno en la mezcla con el concreto para buscar mayor información sobre las mejoras que produciría esta mezcla, además, es menos costosa en comparación a la adición de aditivos que en muchos casos necesitan un cuidado diferente. La primordial característica mecánica del concreto es su firmeza a la compresión, pero sin dejar de lado las demás propiedades mecánicas como son Flexión, abrasión y tracción. Por esta razón, M.C hace un comparativo de hacer estos ensayos mecánicos en uno convencional y con fibra, y ver la diferencia de resistencia que existe entre este comparativo.

Lo que estudia M.C define que al utilizar fibras sintéticas hace que este material reduzca las fisuras y que sea más resistente al impacto, mejorando su integridad optimizándolo a mayor tiempo mediante la reducción de asentamiento.

**Dias Silva, Yovana (2017). “Diseño de Mezcla de concreto permeable elaborado con aditivo y adición de fibra de polipropileno para uso de pavimentos”. Universidad Nacional de Cajamarca, Perú”.**

Se explica la utilización de aditivos y la adición de fibra de polipropileno para que el concreto alcance una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> y tenga una compactibilidad a la flexión de 42 kg/cm<sup>2</sup>. El proceso de elaboración que estuvo dividido en 3 etapas buscó que tanto la inclusión del aditivo y de la fibra ayuden a que el producto permeable logre una durabilidad óptima en pavimentos.

## 2.3 BASES TEÓRICAS

Este trabajo ha consignado teorías que fundamentan el estudio.

### 2.3.1 Temperatura

La temperatura según diferentes conceptos nos define que es una propiedad física que nos da nociones de calor o la ausencia de él, el significado de temperatura en diferentes ramas de la física tiende a ser muy complejo, ya sea una sensación de calor o frío estos tienden más a una sensación térmica para las personas.

En otros casos, la temperatura puede ser medida solo por equilibrio, ya que se define exclusivamente como un promedio, esto es el caso de cantidades termodinámicas como el calor o la entropía.

La temperatura alude a la energía térmica. El caso de una bañera con agua caliente, según la temperatura indicada en la terma, es la misma que la temperatura del agua saliendo de la ducha, en estos casos no importa la diferencia de tamaño.

La temperatura tiende a medirse de diferentes maneras, pero para la medición normalmente se puede basar en diferentes tipos de las que cambia la materia como: la resistencia eléctrica, el volumen del cuerpo, el cambio de color del objeto. El italiano Santorio, siglo XII, diseñó un método para poder medir la temperatura de forma numérica, está mejorando el diseño que inicialmente existía por medio del descubrimiento de Galileo Galilei en 1597. Este diseño actualmente se le conoce como termómetro.

Las temperaturas también se definen por escalas de medición, las cuales existen 3 tipos de escalas, las cuales son: Fahrenheit, Celsius y Kelvin. "Fahrenheit, Daniel Gabriel (1686-1736) inventó en 1709 el termómetro de alcohol y el de mercurio, en 1714. Diez años después desarrolló la escala de temperatura Fahrenheit. En su génesis, este físico alemán estableció una escala  $T^{\circ}$  de una combinación de hielo-agua-sal fijada a 0 grados. Esta mezcla temperada (sin sal) se fijó  $30^{\circ}$  y el del cuerpo humano a  $96^{\circ}$ . Ante esta circunstancia, se logró medir la  $T^{\circ}$  del agua hirviendo a  $212^{\circ}\text{F}$  en su propia escala. A posterior, se ajustó  $30^{\circ}\text{F}$  a  $32^{\circ}\text{F}$ , al hacer que el intervalo entre el punto de ebullición y el de congelamiento del agua fuera de 180 grados (y que la  $T^{\circ}$  del cuerpo fuese de  $98.6^{\circ}\text{F}$ ). Actualmente, se usa en Estados Unidos." VisionLearning (7 junio, 2019).

"Celsius, Anders (1701-1744) este suizo, estudió astronomía y en el año 1742 inventó la escala centígrada. Consignó como punto de fusión del hielo y de ebullición del agua, dos temperaturas para arribar un método práctico y consistente de un termómetro de calibración. Esta situación conllevó a dividir la diferencia de las temperaturas entre el punto de congelamiento y ebullición del agua en 100 grados. Luego de su fallecimiento, pasó a llamarse escala Celsius por centígrada. El punto de congelamiento del agua se fijó en  $0^{\circ}\text{C}$  y el punto de ebullición del agua en  $100^{\circ}\text{C}$ . Este último estudio, toma precedencia sobre la escala Fahrenheit en la

investigación científica porque hay mucha relación con el formato basado en los decimales del Sistema Internacional (SI) del sistema métrico. Además, la escala de temperatura Celsius se utiliza en muchos países” VisionLearning (7 junio, 2019).

“Kelvin, William (1824-1907) Escocés, físico creador de la escala Kelvin a mediados de 1854. Se sustenta su pensamiento en el cero absoluto, la  $T^a$  teórica donde el movimiento molecular se detiene e imposibilita la detección de energía. De ello, se puede concluir que su teoría del punto cero de la escala Kelvin es la más baja que existe en el universo:  $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Además, coincide en la unidad de división que la escala Celsius. Por tanto, ambas escalas son unidades de medida estándar del SI, utilizada en las comunidades de estudio. En la escala Kelvin no hay números negativos por lo tanto es necesario aplicarlos en investigaciones científicas cuando se mide temperatura extremadamente baja”. VisionLearning (7 junio, 2019).

### 2.3.2 Incendio

El incendio tiene su origen en la reacción química que puede darse de cualquier objeto que este expuesto al fuego, esto mediante parámetros tales como: combustible, calor y oxígeno. Cada uno de estos parámetros tiene un punto de inicio en la cual se produce el acto a raíz que el incendio vaya aumentando, puede originarse nuevas rutas en la cual haga que este aumente y a su vez consuma por lo que encuentre.



Figura 1: Tetraedro del fuego

Fuente: Norma ASTM E119

### 2.3.3 Comportamiento del Concreto

Los estudios hechos referentes a las propiedades del concreto que han sido investigadas para demostrar la resistencia frente al fuego directo tienen como finalidad proteger vidas; sin embargo, la exposición a altas temperaturas hace que el concreto sufra transformaciones físicas y químicas. Los incendios, por ejemplo, hacen que tengamos una estadística de cómo varía las características propias del concreto, es así que a nivel estructural se procura tener al concreto como elemento relevante y de vital importancia.

El concreto en las estructuras presenta características que hacen que estas tengan una seguridad y protección en caso de un siniestro de alta magnitud; entre ellas tenemos:

- El concreto es poco probable que arda y por ende, hace que no aumente la carga del fuego.

- El concreto frente al contacto directo con el fuego no produce gases tóxicos.
- En las estructuras el concreto evita que se propague el fuego a otras direcciones es por ello que según los estudios realizados tiene una mayor resistencia.

Para determinar cómo actúa el concreto frente al fuego existe 2 componentes en la cuales podemos tomar como aportes claves, y son: el concreto no arde y el concreto evita una propagación del fuego.

Podemos concluir que el concreto actúa de manera favorable frente a un incendio, esto debido a su composición de minerales, y como también evita que el fuego se propague actúa de manera eficaz para la protección.

Incendio de la Torre GrenFell 2017



*Figura 2: Torre GrenFell  
Fuente: Diario El Pais (2017)*

Para tener en cuenta la protección de las estructuras frente a un incendio, se tiene definido un estudio mediante las siguientes normas: Norma Europea ISO 834, norma ASTM E119.

El concreto a temperaturas menores de 300° no sufre ningún daño, después de esa temperatura es donde empieza a sufrir daño alguno en la resistencia donde difícilmente puede recuperarse después del incendio, pero a pesar de sufrir un daño casi irreversible, por lo que se sabe de su bajo coeficiente de calor hace que se tarde en alcanzar niveles de peligrosidad.

TEMPERATURA °C	COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO
200°-300°	Pérdida del agua capilar, no parecen modificaciones estructurales ni disminuye la resistencia
300°-400°	Pérdida del agua del cemento. Aparecen fisuras superficiales y el concreto tiende a una coloración rosácea debido a los cambios que sufren los compuestos de hierro
400°-600°	Desprendimiento de cal viva a partir del hidróxido cálcico de hidratación de silicatos. Cuando se enfría el concreto sus propiedades mecánicas pueden disminuir en función del método de extinción del incendio y de las tensiones estructurales a las que esté sometido. Color rojizo.
600°-950°	Los áridos se expanden y debido a sus diferentes coeficientes de dilatación, aparece la disgregación. El concreto adquiere tonalidades grisáceas, pierde agua intersticial y se vuelve poroso. En estas situaciones se produce una pérdida de resistencia que puede oscilar entre el 60% y el 90%, siendo necesaria su total sustitución para garantizar la estabilidad estructural del edificio.
950°-1200°	Dstrucción del conglomerado, adquiriendo un tono amarillento. El concreto carece de resistencia residual alguna.

*Tabla 1: Comportamiento del concreto sometido a distintas temperaturas*  
*Fuente: Norma ISO 834*

En la exposición al fuego el concreto tiene tonalidades que pueden variar según los siniestros en la cual se presenten, en cualquier tipo de incendio el concreto queda cubierto de humo, la cual después de este siniestro tiene que limpiarse para saber cómo ha quedado la tonalidad del concreto y cuanto ha variado en comparación a su estado inicial.

#### 2.3.4 Seguridad del concreto frente al fuego

Quando se trata de seguridad del hormigón frente al fuego, cada material tiene una función en la cual pueda distinguirse y que actué

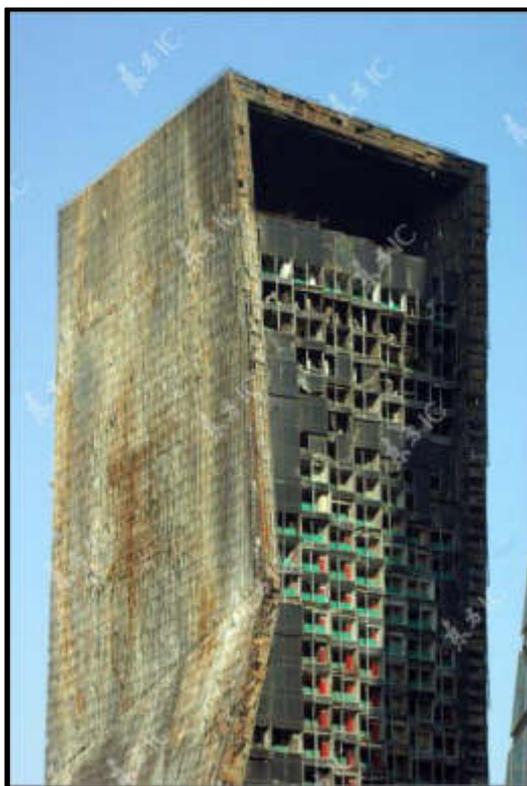
de manera que pueda protegerse la estructura. En caso de algún siniestro la estructura debería tener una resistencia en la cual tenga un tiempo que permita que personas que se encuentren dentro del edificio, pueda evacuar de manera rápida sin correr algún tipo de riesgo como un derrumbe, y además debe de haber una resistencia por parte del hormigón que permita combatir el fuego. Todo este tipo de seguridad que se solicita debe de haber en todo tipo de edificación, ya sea una casa pequeña hasta un edificio que cuente con varias plantas en la cuales están proyectadas a satisfacer todo tipo de demanda que se requiera, pero a la vez que cumpla con los estándares de seguridad frente a un incendio

### 2.3.5 Estado del concreto después del incendio

Después de finalizado el incendio se necesita hacer unos estudios en la cual verifiquen si el concreto es servible o no, estas verificaciones se hacen cuando los bomberos hayan dado la autorización para ingresar al edificio incendiado se realiza una inspección del estado del edificio esta inspección se hace de manera visual, después de la inspección visual se realizan unos ensayos normados para ver el estado en la que se encuentre el edificio y entre estos ensayos tenemos:

- **Extracción y falla de núcleo de concreto (norma ASTM C42):** se busca determinar la firmeza del material, se obtiene por la extracción de muestras.
- **Resistencia del concreto con esclerómetro de 6 puntos (norma C 805):** este ensayo es para determinar el rebote del concreto endurecido mediante un esclerómetro, se utiliza para determinar la uniformidad del concreto in situ.

Ya con estos ensayos realizados, aparte de la inspección visual se toma una decisión por parte de los especialistas que determinan si el edificio se pueda rehabilitar o demoler.



*Figura 3: Edificio de la televisión central de Beijing*

Fuente: El mundo.es

La característica del concreto frente al fuego se deduce que tiene buenas características, pero se tiene que tener en cuenta que, a mayor aumento de temperatura, la tipología del concreto va presentando fisura o algún tipo de falla. Todo esto va perjudicando considerablemente el estado del edificio porque se ve afectado dependiendo el tiempo que esté expuesto al fuego.

Para la determinación del comportamiento del fuego frente a un incendio se puede ver distintos factores como los tipos de materiales inflamables que se utilizaron las cuales conducen una acción térmica propia de cada agregado.

Otro factor tan influyente como los demás durante un incendio es la velocidad de enfriamiento que existe y afecta la estructura, tal es el caso, de la forma de enfriamiento al usar el extintor hace que la resistencia de todas maneras sufra una reducción de resistencia.

### 2.3.6 Nivel de temperatura que alcanza un incendio

Existen niveles de temperatura que puede ser definido por clases, las cuales explican la clasificación del fuego debido al material la cual es combustible, según sus características. Estas clases de incendio están dadas por la NTP 350.021:2012 “CLASIFICACIÓN DE LOS FUEGOS Y SU REPRESENTACIÓN GRÁFICA”.

TIPO CLASES	IMAGEN	FIGURA COLOR	DESCRIPCIÓN
A			Todos los materiales sólidos comunes, tales como madera, papel, desperdicios, fibras naturales y otros, que tienen como principal característica dejar brasas.
B			Todos los materiales inflamables, líquidos, sólidos y gaseosos, tales como gasolina, pinturas, lacas, alcoholes, aceites, grasas, ceras y otros, cuya característica especial es no dejar brasas.
C			Son los materiales, equipos o elementos eléctricos que presentan la característica de estar con tensión o energizados, tales como motores eléctricos, generadores, transformadores, máquinas de escribir eléctricas, cables y líneas y otros.
D			Son algunos metales como el magnesio, aluminio, titanio, litio, potasio, calcio y otros, que al entrar en combustión, generan oxígeno propio para su abastecimiento.
K			Son aquellos materiales relacionados con los aceites y las grasas, mantecas vegetales y animales.

*Figura 4: Tipo de incendios*  
*Fuente: Norma ASTM E119*

Como se indica, aparte de las clases de incendio, también existen 3 fases de incendio que son progresivas, cada una de ellas menor que la otra, y aumenta según el tiempo, y el tipo de material que genera el aumento de fuego. Las siguientes fases son:

➤ **Fase Incipiente:**

- El contenido de oxígeno en el aire que debería tener en esta fase es de 20%.
- Producción de H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y cantidades mínimas de CO, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>.
- Levemente sobrepasa los 100° F (54°C).

➤ **Fase de libre combustión:**

- En esta fase se tiene que reducir la fuente de oxígeno.
- En las áreas que son superiores el calor tiende a acumularse.
- Llega aproximadamente 1300° F (700°C).

➤ **Fase latente:**

- El oxígeno está por debajo del 15%.
- Es donde se genera altas temperaturas.
- El CO y el carbón puede originar una explosión por flujo reversivo.

### 2.3.7 Comportamiento del concreto con fibra

Los estudios realizados para determinar el comportamiento del concreto que se le añade una fibra de plástico frente a un incendio, tiene resultados favorables. Pero como todo material mezclado concreto se tiene también su lado desfavorable, es por ello, que se maneja fibras que realmente hagan que la resistencia del concreto disminuya en menor cantidad que un concreto convencional expuesto al fuego.

Entre las características que se tiene del concreto reforzado con fibra tenemos:

- Capacidad de resistir fuerza que ocasionen rotura, es ahí donde el uso de fibras hace que mejore la resistencia.
- Reducción a la permeabilidad, pero es también donde tiene mayor fuerza a la fractura, a la abrasión y fuerzas de impacto.

- La cantidad de agua es menor cuando se utiliza las fibras, la relación A/C en superficie es más constante y esto hace que haya más resistencia a la abrasión.
- Las fibras ayudan a la mejora del desarrolla de su integridad optima a largo plazo mediante reducción de asentamiento plástico como formación de fisuras.

### 2.3.8 Efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas

#### 2.3.8.1 Efecto de la temperatura en la resistencia a la compresión

Uno de los factores que condiciona el efecto de la temperatura en el concreto, normalmente está condicionado por el tipo de agregado que se utilice. Los datos que se obtiene en la revisión de distintos programas experimentales demuestran que existen altas diferencias en resistencia de concreto convencionales con un concreto reforzado con fibra.

Existen muestras entre una comparación de los parámetros en los estados de pérdida de resistencia inicial, estabilización y recuperación de resistencia y de pérdida permanente de resistencia para ambos tipos de concreto en función del método de ensayo empleado y el tipo de agregado.

Se da a entender que existen diferencias en los resultados producto de las condiciones propias del tipo de ensayo para los concretos confeccionados con el mismo tipo de agregado y que el comportamiento al fuego del concreto de alta resistencia ofrece un peor desempeño que los concretos convencionales.

## 2.4 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

### 2.4.1 Agregados Pétreos

Los agregados son parte de los elementos primarios en el momento de diseñar la mezcla del concreto, este tiene un origen artificial o natural que son extraídas de canteras situadas en nuestro territorio nacional como en ríos y faldas de cerro que posteriormente son tratadas en laboratorios para cumplir con las características técnicas según la norma técnica peruana. Estos agregados influyen en el periodo fresco, de fragua y endurecido del concreto dando las siguientes características:

#### 2.4.1.1 En estado fresco y fraguado

- Manejabilidad. - característica del concreto fresco que dependerá en la forma o modo para ser trasladado, ser ubicado y compactado.
- Segregación. - es la separación de los elementos utilizados para la mezcla del concreto, una excesiva segregación tiene como consecuencia un concreto débil con menos duración de vida y presentar mal estado físico como fisuras. Las causas que originen segregación pueden ser: densidad de los agregados, malos procedimientos de mezcla, transporte inadecuado, colocación inadecuada, etc.
- Exudación. - característica del concreto en estado fresco donde se puede evidenciar una capa de agua en la parte superior mediante el ascenso del líquido empleado en la mezcla, debido a la poca cantidad de finos, ya sea por los agregados y el cemento.

#### 2.4.1.2 En estado endurecido

- Durabilidad. – Alude a la resistencia del material ante la intemperie, ya sea por desgaste o productos químicos que será sometido a lo largo del tiempo.
- Impermeabilidad. - El concreto dada sus características debe tener la capacidad de no permitir el ingreso de agua en su interior, ya que este puede alterar de forma negativa las propiedades mecánicas de este.
- Resistente a compresión. - Es una prueba de laboratorio que tiene como resultados indicadores que se toma a los 28 días a las probetas de forma cilíndrica que se encuentra normalizado, sirve para medir una carga por unidad de área proceso que esta normado (ASTM C39) que se expresa en esfuerzos generalmente en kg/cm<sup>2</sup> y Mpa.
- Resistente a tracción.- Depende de la preparación de la mezcla, la presencia o no de defectos en la superficie del concreto donde el concreto será sometido a esfuerzo que genere tensiones.
- Resistente a flexión. – Prueba que sirve para medir la falla por momento del concreto, se le aplica cargas a viga de concreto con dimensiones normalizadas donde se analiza su comportamiento expuesto a cargas de deformaciones.

## 2.4.2 Propiedades Mecánicas del Concreto

### 2.4.2.1 Resistencia a la Compresión:

Es debidamente proporcional a la masa de cemento hidratada, por lo que, principalmente, dependerá mucho de la mezcla de sus componentes, del grado de curado que ha tenido y también como tipo de cemento que se ha utilizado.

Se espera que la resistencia obtenga una falla del menos del 5% de las muestras del concreto terminado. En el caso de que haya algunas verificaciones de diseño se hace necesario su evaluación a la compresión del concreto, la misma que se determina por la siguiente formula:

$$f_{cm} = f_{ck} + \Delta f$$

- $\Delta f = 8 \text{ MPa}$ .

*Figura 5: Resistencia Media a la Compresión  
Fuente: Anónimo*

El caso de que haya una alta resistencia, la cantidad y tipo de agregados tienen un efecto muy notorio en la resistencia y también en su evolución del tiempo.

Esto se calcula mediante el ensayo de compresión axial de las probetas en formas cilíndricas de 4 cm de diámetro y 20 cm de altura, estos ensayos pueden realizarse a las 3, 7, 14, 21 y 28 días de acuerdo a las normas ISO 1920, ISO 2736-2 e ISO 4012 y la ASTM 39.

Para el curado de las probetas se debe colocar en un envase apropiado con agua a una temperatura ambiente y luego para realizar el ensayo se necesita sacar del recipiente y dejarlo secar por un tiempo especificado según el ACI.

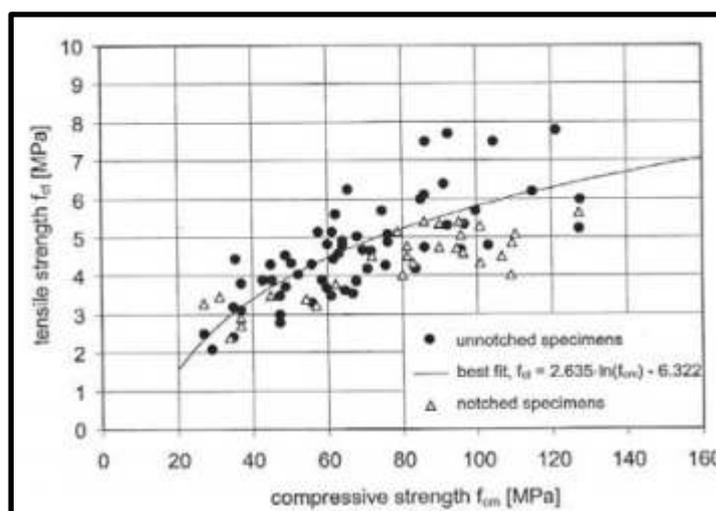
#### 2.4.2.2 Resistencia a la Tracción:

Va a depender fundamentalmente de los mismos aspectos que la resistencia a la compresión. Sin embargo, no son específicamente iguales, ya que si se tiene un aumento, ocurrirá un incremento en la resistencia a tracción, pero esto solo aumenta ligeramente.

La resistencia a la tracción axial es el parámetro que describe de forma más exacta el comportamiento bajo tensión del concreto.

Hay estudios experimentales e investigaciones basadas en métodos que han demostrado que las pruebas a tracción de probetas de concreto son el método más adecuado para determinar la durabilidad a la tracción del concreto.

De acuerdo a la figura presentada -- el aumento que se realiza en la resistencia a la tracción se debe al aumento de la resistencia a la compresión de probetas con orificios es significativamente menor que para las probetas sin orificios. Además, esto se excede de aproximadamente 80 MPa se puede apreciar que la resistencia a la tensión permanece prácticamente constante a partir de ese valor.



*Figura 6: Relación entre la Resistencia a la Compresión y la Resistencia a la Tracción del concreto.*

*Fuente: Fib Bulletin pg. 42*

Este tipo de ensayo resulta ser el método más apropiado para poder determinar las propiedades del concreto bajo tensión, su uso está reservado casi exclusivamente a fines de investigación producto de las dificultades experimentales que conlleva realizar distintos tipos de experimentos.

Como se ha comentado, solamente los ensayos de tensión axial de probetas sin orificios son los que proporcionan datos acertados para la derivación de relaciones entre ambos.

#### 2.4.2.3 Resistencia a la Flexión:

Se refiere a la medida de la resistencia a la tracción del concreto. Esta resistencia se observa por la falla de una viga o losa de concreto no reforzada, se evidencia normalmente por la aplicación de cargas a vigas de concreto de 15cm x 45cm. Se expresa también como Módulo de Rotura (MR) y la cual es determinada por los métodos de ensayos ASTM C78 (carga en los puntos tercios) o ASTM C293 (carga en el punto medio).

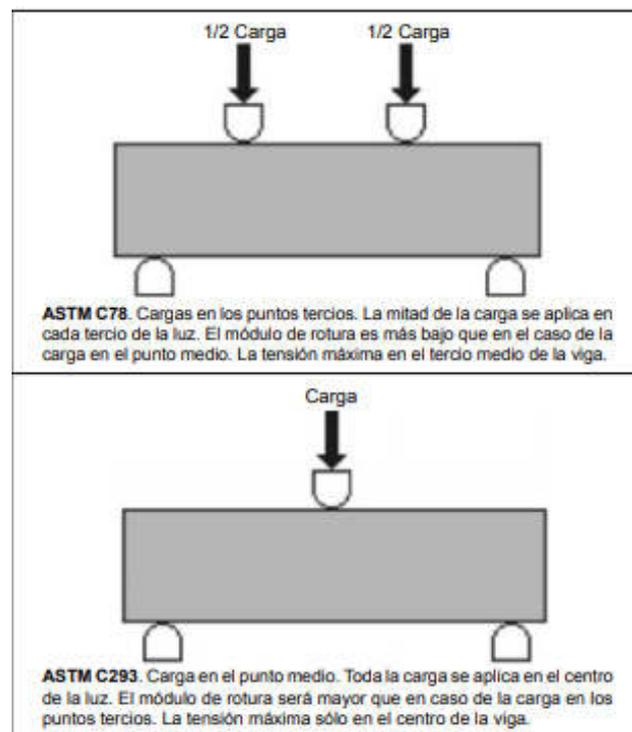


Figura 7: Métodos de Ensayo de Flexión  
Fuente: National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA)

Cuando se desea saber la resistencia a la flexión se utiliza las resistencias a compresión de los testigos.

Para este tipo de ensayos existe algunos inconvenientes que se presentan debido a su sensible preparación, uso y acciones de curado, las vigas son muy pesadas y si no se manipula bien, se pueden dañar cuando se transportan de algún lugar a otro. Por lo que se necesita requerimientos específicos que cumplan con todo esto, para que no haya problemas o alguna falla a la hora del ensayo.

### 2.4.3 Tipos de Agregados

#### 2.4.3.1 Agregado Fino

Consiste en un material granular que se puede identificar cuando se almacena en el tamiz N° 200. Su principal aporte del agregado árido para la composición del material, es mejorar la manejabilidad y consistencia en el estado fresco de la mezcla, donde nuestro diseño de mezcla va tener una participación del 31 % del peso en el concreto suministrado en promart suministrados por UNICON.

#### 2.4.3.2 Agregado Grueso

Se extrae de las canteras como ríos que tiene su origen en el proceso de desintegración de las rocas donde se obtiene piedra chancada y grava de diferentes tamaños. Es un componente principal para el concreto donde su participación es dar resistencia a la compresión. Para nuestro producto reforzado con fibra de polipropileno utilizaremos el agregado grueso con tamaño de 1/2”.

#### 2.4.3.3 Agua

El agua que se utilizó, fue agua potable, obtenido desde el laboratorio de práctica (FIA)-USMP lugar donde se ha realizado nuestro proyecto, amparado según los requisitos estipulados en la Norma NTP 339.227.

#### 2.4.3.4 Fibra de Polipropileno

Las fibras se caracterizan por ser como filamentos alongados y finos en varios tipos de formas como malla o trenza, estas fibras pueden ser de manera natural o pueden tener una modificación manualmente y estas se mezclan en estado fresco y es según la proporción determinada en su diseño.

Se presentan tipos de fibra, sintéticas, de vidrio, de acero y las naturales.

Se tiene una breve reseña sobre la fibra de polipropileno que fueron utilizados en los años 70's para el hormigón y cumplir su reforzamiento. Esta fibra tiene unas propiedades que hacen que sea favorable para la mezcla con el hormigón, estas no tienen reacciones químicas la cual permite que sea estable, otra de las características que presenta es que tienen una superficie permeable que hace que no disminuya el agua de la mezcla, tienen un peso liviano y alcanza una resistencia media en el ensayo a la tensión. Una de las desventajas que posee el uso de este tipo de fibra en la mezcla con el hormigón es que tiene poca adherencia con el cemento, fusión baja, alta combustibilidad y bajo de elasticidad.

Tenemos las propiedades de la fibra de polipropileno

DATOS TÉCNICOS	
Material	: Polipropileno 100% Virgen
Diseño	: Filamento monolaminar
Color	: Blanquecino traslúcido
Gravedad Específica	: 0.91 gr/cm <sup>3</sup>
Punto de Fusión	: 160°C (320°F)
Punto de Ignición	: 590°C (1094°F)
Absorción de Agua	: Cero
Resistencia ácidos y álcalis	: Excelente.
Resistencia a la Tensión	: 70 ksi (480 MPa)
Longitud	: 0.5" (13 mm) & 0.75" (19mm)
Módulo de Elasticidad	: 1230 ksi (4.48 GPa)
Denier	: 0.9

*Figura 8: Propiedades Técnicas de las Fibras de Polipropileno*  
Fuente: *Catálogo Técnico Chema Fibra Ultra fina, Chema 2014*

El desempeño que existe entre los compuestos de la fibra y el hormigón se controla principalmente por la dosis que se maneja en la mezcla, como, por ejemplo:

- Propiedades Físicas de la fibra
- Longitud de las fibras.
- Adherencia entre los compuestos.

#### **i. Dosis de la fibra de Polipropileno**

A mayor cantidad de fibra que se le coloque a la mezcla se obtendrá una mayor resistencia y menor fisuración post-ensayos, dado que las características de esta fibra es tener un comportamiento estable frente a las cargas que se le apliquen.

## ii. **Propiedades físicas y mecánicas de la fibra**

Como se explicó inicialmente la fibra de polipropileno tiene características favorables en la realización de la mezcla con el hormigón, además, no cuenta como reacciones químicas y son de un costo bajo dependiendo el tipo de fabricación con la que se haya realizado en comparación a otros tipos de fibras.

También contribuyen de una manera efectiva a la reducción de la presión de poros en el concreto durante el calentamiento de este, es decir, que reduce la probabilidad que ocurra algún desprendimiento explosivo en partes del concreto.

La reducción de la presión depende también de la conformación estructural y molecular que tenga la fibra de polipropileno durante el calentamiento del concreto en combinación con esta.

Según las características presentadas las fibras de polipropileno parecen ser la respuesta para reducir de manera efectiva los fenómenos de spalling (desprendimiento) en el concreto de altas resistencias, parece conveniente pues conocer cómo funcionan este tipo de agregados en el concreto.

### 2.4.4 Propiedades Físicas de los Agregados

#### 2.4.4.1 Peso Unitario

Dato que se obtiene pesando la muestra (fino o grueso) colocado sobre un recipiente cilíndrico hasta el tope o punto de derrame que luego se nivela con la ayuda de una barrilla con este proceso conoceremos la cantidad de material por metro cubico de concreto utilizando un variable de conversión de peso a volumen.

#### 2.4.4.2 Peso Unitario Compactado

Es el peso del material (fino o grueso) por metro cubico del concreto, para ello se coloca la muestra sobre un recipiente cilíndrico que será debidamente compactado (acomodado) hasta el tope del cilindro o punto de derrame. Este dato sirve para calcular el volumen absoluto de los agregados y porcentaje de vacíos.

#### 2.4.4.3 Peso Específico

Datos del estado de los agregados, la relación de un bajo peso específico indica que se trata de agregados malos que son absorbentes y débiles; caso contrario, de materiales adecuados para la mezcla del concreto.

#### 2.4.4.4 Módulo de Fineza

Proceso que sirve para determinar o tener una idea del grosor o finura de los agregados, este proceso se hace usando tamices de diferente tamaños No.100, No.50, No.30, No.16, No.8, No.4, 3/8", 3/4", 1 1/2", 3" y de 6".

#### 2.4.5 Método de Diseño de Mezcla

Para su cometido se ha seguido la norma del A.C.I 211 donde nos explica el proceso que se debe realizar para determinar la relación Agua-Cemento, también, de Agregado-Cemento, la cantidad de agregados que se tiene añadir y otro de lo que se determinara es el contenido de aire que tendrá el concreto.

## 2.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

### 2.5.1 Hipótesis General

El proceso de rehidratación con agua en el concreto reforzado con fibra de polipropileno hace que la resistencia disminuya en mayor porcentaje a comparación del proceso de rehidratación a temperatura ambiente.

### 2.5.2 Hipótesis específicas

1. Las fibras de polipropileno mejora la resistencia del concreto frente a la exposición del fuego.
2. El concreto reforzado con fibra de polipropileno tiene un leve descenso en la resistencia por la exposición al fuego directo
3. El proceso de rehidratación aumenta la pérdida de resistencia en el concreto reforzado con fibra de polipropileno que ha sido expuesto al fuego.
4. El incremento de temperatura en el concreto reforzado con fibra de polipropileno está relacionado directamente con la pérdida de resistencia mecánica y el cambio brusco de temperatura del concreto expuesto al fuego por el proceso de rehidratación hace que perjudique considerablemente en la resistencia mecánica del concreto.

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

Se ha distinguido esta investigación de forma experimental con enfoque cuantitativo, ya que está relacionado con nuestros objetivos en resultados numéricos. Nuestros especímenes de concreto reforzado con fibra de polipropileno serán sometidos al fuego directo y al proceso de rehidratación con agua, luego de estos procedimientos se analizará el comportamiento en función de la resistencia a compresión, tracción y flexión; así obtendremos resultados de forma cuantitativa que ayudara a evaluar el uso de la fibra de polipropileno en el concreto.

### 3.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Los objetivos de esta investigación tienen un enfoque experimental donde se establece la relación causa y efecto. Tiene tres etapas: la primera es el antes de aplicar el experimento; la segunda, la aplicación de eventos que cambiará las características y propiedades de la muestra inicial y la tercera, analizar los cambios que se originó por los eventos experimentales en la muestra.

El concreto con fibra de polipropileno pasando los 28 días de vida será sometido a fuego directo y al proceso de rehidratación, finalmente se procedió con los ensayos respectivos y así se empezó a determinar las resistencias. La toma de datos que se hicieron fueron más de una vez debido a que se necesitaron más de una muestra para obtener un promedio y nos dé un resultado final más certero sobre cada ensayo realizado.

### 3.2 TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

Es de tipo aplicada, se expone la muestra a eventos experimentales que cambian las características y propiedades iniciales, luego, se analizará los efectos del experimento en la resistencia de la muestra que permita llegar a los objetivos de la presente tesis

### 3.3 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

Presenta un nivel correlacional donde se analizará la relación entre las variables independiente con la variable dependiente para ello se interpretará la información cuantitativa recolectada de los ensayos mecánicos de resistencia debido al proceso experimental en la UPSMP.

### 3.4 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

#### 3.4.1 Variable Independiente

El proceso de rehidratación tendrá como dimensiones el modo que puede ser: rehidratación con agua ó rehidratación expuesta al medio ambiente con indicadores que va ser el tiempo y las temperaturas alcanzadas.

#### 3.4.2 Variable Dependiente

Resistencia del concreto reforzado con fibra de polipropileno, tendrá como dimensiones la resistencia alcanzado en los ensayos a compresión, tracción y flexión.

### 3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

Se desarrolló en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres, ubicada en la Av. La Fontana 1250 Urb. Sta. Patricia 2da Etapa La Molina.

#### 3.5.1 Población

Estuvo conformado por cien especímenes realizados por la mezcla de concreto convencional con un diseño de  $f'c$   $250 \text{ kg/m}^2$  y concreto reforzado con fibra de polipropileno.

#### 3.5.2 Muestra

Son cincuenta y siete probetas cilíndricas de concreto reforzado con fibra de polipropileno que tiene las medidas 10 cm de diámetro x 20 cm de largo y veinte y cuatro probetas rectangulares entre concreto convencional y concreto reforzado con fibra de polipropileno con medidas de 15 cm x 15 cm y 45 cm que serán sometido a nuestro proceso experimental y luego a los ensayos de compresión, tracción, y flexión.

### 3.6 TECNICA Y RECOLECCION DE DATOS

La recolección de datos fue mediante observación y luego de este proceso en el laboratorio fueron registrados en hojas de cálculos para la obtención de resultados fiables, la comparación de los mismos fueron analizados y confrontados según indica los estándares de las normas relacionadas a la presente tesis.

### 3.7 DESARROLLO O PROCESO

El proceso experimental de la investigación consta de 3 fases en donde se ha tenido participación directa en el desarrollo de cada proceso con el objetivo de garantizar cada resultado obtenido.

#### 3.7.1. Diseño de mezcla de concreto

##### 3.7.1.1 Selección de Materiales

Los insumos usados son la piedra, arena gruesa, cemento y agua.

Para realizar un adecuado diseño de mezcla los materiales deben ser los más óptimos, para los agregados de arena (gruesa) y piedra (1/2") se escogió de las canteras de UNICOM; el cemento escogido es de tipo I el factor de elección está basada en que se utiliza con mayor frecuencia en la sociedad.



*Figura 9: Selección de Materiales*

*Fuente: Propia*

#### 3.7.2 Caracterización de los Materiales (Piedra y Arena)

Para el desarrollo de diseño de mezcla, se ha realizado procesos en el laboratorio para determinar qué cantidad de cada agregado

se va a utilizar, para ello, es necesario que contemos con los siguientes pasos según las normas siguientes:

- Norma E-060 de concreto armado del RNE.
- NTP 400.017 para determinar el peso unitario de los agregados.
- NTP 400.021 para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso.
- NTP 400.022 para determinar el peso específico y absorción del agregado fino.
- NTP 339.127 para determinar el contenido de humedad de los agregados.
- NTP 400.037 para determinar los límites granulométricos de los agregados finos.

*Figura 10: Normas utilizadas de información para la Investigación*

*Fuente: Propia*

### 3.7.2.1 Granulometría de los Agregados

Se tomó en cuenta lo que está en la norma NTP 400.037 que nos explica que para estos casos es recomendable tener un ordenamiento de los tamices desde 3", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N°8, N° 10, N° 16, N° 20, N° 30, N° 40, N° 50, N°80, N°100, N° 200, fondo.

Pero debido al tamaño de agregado que se ha empleado lo recomendable según la especificación también de la norma, solo se necesita emplear a partir del tamiz N°4, N° 8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200 además del fondo. Ya con esto datos de los tamices se inició el ordenamiento de estos y se procedió al tamizado y se obtuvo lo siguiente:

MODULO DE FINEZA (MF)					
TAMIZ	RETENIDO (gr)	RETENID O ACUMUL ADO (gr)	RETENID O (%)	RETENID O ACUMULA DO (%)	PASA (%)
N°4	0	0	0.000	0.000	100.000
N°8	82	82	9.276	9.276	90.724
N°16	230.5	312.5	26.075	35.351	64.649
N°30	250.5	563	28.337	63.688	36.312
N°50	141	704	15.950	79.638	20.362
N°100	109.5	813.5	12.387	92.025	7.975
N°200	38	851.5	4.299	96.324	3.676
FONDO	32.5	884	3.676	100.000	0.000
MF					2.80

*Tabla 2: Tamizado de los Agregados  
Fuente: Propia*

### 3.7.2.2 Peso Unitario Seco Suelto Arena Gruesa y Piedra

En este caso, se determinó el procedimiento especificado por la norma técnica peruana (NTP) 400.017.

Se secuencian los pasos:

- i. Se pesa los recipientes vacíos.
- ii. Luego se determina el volumen de los moldes, el volumen del molde se determina de la siguiente manera:

Muestra	Peso del Molde	Peso del molde + Agua (kg)	Peso del Agua (kg)	Factor de calibración del agua (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen del Molde
volumen del molde	2.74	5.455	2.715	1000	0.002715

*Tabla 3: Cálculo de Volumen de molde  
Fuente: Propia*

- iii. Luego se procede a rellenar un recipiente con el material a pesar hasta tal punto que se derrame, luego se nivela con una varilla para que quede a ras del molde.
- iv. Finalmente, el recipiente llenado es llevado a la balanza para determinar su peso unitario suelto.

Para la determinación del peso unitario se obtiene mediante la fórmula dada en la siguiente imagen.

$$M = (G - T)/V$$

$$M = (G - T)*F$$

donde:

M = Peso Unitario del agregado en kg/m<sup>3</sup> (lb/p<sup>3</sup>)

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

T = Peso del recipiente de medida en kg (lb)

V = Volumen de la medida en m<sup>3</sup> (p<sup>3</sup>), y

F = Factor de la medida en m<sup>3</sup> (p<sup>3</sup>)

*Figura 11 Cálculo de Peso Unitario Seco suelto Arena fina y Piedra*

*Fuente: NTP 400.017 (2011)*

Ya con la fórmula tomada de la norma y con los pasos mencionados se obtiene los datos de laboratorio y se determina el peso unitario seco final de los agregados.

<b>Peso unitario seco suelto (kg/m3)</b>	<b>Arena</b>	<b>Piedra</b>
Peso del recipiente (kg)	2.726	7.245
Volumen del recipiente (m3)	0.00276	0.009358
Peso de muestra + Recipiente (kg)	7.086	21.94
Peso unitario seco suelto (kg/m3)	1580.86	1570.31

*Tabla 4: Peso Unitario Seco suelto Arena fina y Piedra*

*Fuente: Propia*

### **Materiales Usados:**

Arena Gruesa.- Arena en bolsa de 40 kg obtenida de la cantera de UNICON, este material no debería tener algún tipo de contaminación, debido a que si sufre algún cambio, el diseño de mezcla puede variar. Material compuesto de arcilla o limo.

Piedra Chancada.- Piedra en bolsa de 40kg obtenida de la cantera de UNICON, el espesor de la piedra que se ha utilizado es de ½”, el uso de este material es exclusivamente para el concreto.

Recipiente de Medida.- Recipiente cilíndrico con  $h = 8''$  y diámetro de  $d = 4''$  donde se coloca los agregados para su peso respectivo.

Balanza.- Aproximación a 0,05 kg y que permita leer con una exactitud de 0,1% del peso de la muestra. (NTP 400.017, 1997, p. 3)

### 3.7.2.3 Peso Unitario Seco Compactado Arena Fina y Piedra

Para la determinación del peso unitario seco compactado (PUC) de los agregados se hace el procedimiento especificado (NTP 400.017).

Los pasos a seguir son los siguientes:

Ya con los materiales utilizados se desarrolla el proceso del peso unitario seco compactado.

i. Se tiene ya por dato del proceso anterior el peso volumétrico del molde para así poder iniciar ya con el peso de los materiales.

ii. Luego se rellena el molde dividido en 3 capas, cada tercio del llenado del molde se apisona con una varilla de  $5/8''$  de diámetro 25 veces. Esto se repite 2 veces más hasta llenar el recipiente.

iii. Luego el recipiente llenado se lleva a la balanza para determinar su peso unitario compactado.

Si queremos determinar el PUC es de la misma manera que la determinación del PUS y se obtiene mediante la fórmula:

$$M = (G - T)/V$$

$$M = (G - T)*F$$

donde:

M = Peso Unitario del agregado en kg/m<sup>3</sup> (lb/p<sup>3</sup>)  
G = Peso del recipiente de medida más el agregado en kg (lb)  
T = Peso del recipiente de medida en kg (lb)  
V = Volumen de la medida en m<sup>3</sup> (p<sup>3</sup>), y  
F = Factor de la medida en m<sup>-3</sup> (p<sup>-3</sup>)

*Figura 12: Cálculo de Peso Unitario Seco Compactado  
Arena fina y Piedra  
Fuente: NTP 400.017 (2011)*

Ya con la formula tomada de la norma y con los pasos mencionados se obtiene los datos de laboratorio y se determina el PUC final de los agregados.

<b>Peso unitario seco compactado (kg/m3)</b>	<b>Arena</b>	<b>Piedra</b>
Peso del recipiente (kg)	2.726	7.245
Volumen del recipiente (m3)	0.00276	0.00936
Peso de muestra + Recipiente (kg)	7.6995	23.38
<b>Peso unitario seco compactado (kg/m3)</b>	<b>1803.30</b>	<b>1724.19</b>

*Tabla 5: Peso Unitario Seco Compactado Arena fina y Piedra  
Fuente: Propia*

- **Materiales Usados:**

Los materiales que se han utilizado son los mismos materiales utilizados en el Peso Unitario Seco Suelto.

**3.7.2.4 Porcentaje de Humedad**

Se aplica el método según la NTP 339.127 donde nos explica cómo se halla.

- i. Se tiene que colocar el agregado húmedo de los ensayos utilizados anteriormente en un recipiente para que sean pesados y así poder registrar el valor.

- ii. Luego de registrar el peso, el agregado húmedo se coloca en el horno hasta que pueda llegar a una masa constante, el grado que mantendrá el horno es de 110 °C.
- iii. Luego de que el agregado se haya secado se tiene que enfriar y que alcance una temperatura del ambiente ya puede ser pesada para su registro y posteriormente para determinar el porcentaje de humedad.

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_i} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

W = es el contenido de humedad, (%)  
 W<sub>w</sub> = Peso del agua  
 W<sub>s</sub> = Peso seco del material  
 W<sub>1</sub> = es el peso de tara más el suelo húmedo, en gramos  
 W<sub>2</sub> = es el peso de tara más el suelo secado en horno, en gramos:  
 W<sub>i</sub> = es el peso de tara, en gramos

*Figura 13: Calculo de Porcentaje de Humedad  
Fuente: NTP 339.127*

Después de colocar los datos en la formula dada por la norma se obtiene los resultados siguientes:

<b>% De Humedad</b>	<b>Arena</b>	<b>Piedra</b>
Peso Humedo (gr)	448.5	1005
Peso Seco (gr)	447.5	1000.86
<b>% De Humedad</b>	<b>0.22%</b>	<b>0.41%</b>

*Tabla 6: Porcentaje de Humedad  
Fuente: Propia*

### 3.7.2.5 Porcentaje de Absorción

Se empleó para saber exactamente qué cantidad de porcentaje de agua ha sido absorbida por el agregado sumergido durante 24 horas.

La fórmula dada por la NTP 400.022:

$$\text{Porcentaje de absorción (a\%)} = 100 \times \frac{500 - A}{A}$$

Figura 14: Cálculo de Porcentaje de Absorción  
Fuente: Propia

A partir ya de la formula se puede determinar:

% De Absorción	Arena	Piedra
Peso saturado superficialmente seco (gr)	1163.13	3419.5
Peso Seco (gr)	1155.3	3403.5
% De Absorción	0.68%	0.47%

Tabla 7: Porcentaje de Absorción  
Fuente: Propia

### 3.7.2.6 Peso específico final de los agregados

Tenemos los siguientes datos:

Peso específico	Arena	Piedra
Peso seco kg	1.1553	3.4035
Peso saturado superficialmente seco (kg)	-	3.4195
Peso sumergido (kg)	-	2.1435
Peso saturado superficialmente seco' (kg)	0.50622	-
Peso seco' (kg)	0.50619	-
Peso picnometro + agua (kg)	1.22961	-
Peso picnometro + agua + arena (kg)	1.54472	-
absorción	0.0068	-
Peso específico	2.649	2.67

Tabla 8: Peso específico de los agregados  
Fuente: Propia

Finalmente, ya con todos los ensayos se obtiene la caracterización de los agregados, cada uno de ellos especificados tanto de la piedra y de la arena.

Caracterizacion de Materiales	Und	Arena	Grueso
Peso unitario seco suelto	kg/m3	1580.86	1570.31
Peso unitario seco compactado	kg/m3	1803.30	1724.19
Modulo Fineza	Pulg	2.80	-
Tamaño maximo nominal	-	N°4	1/2
Humedad	%	0.22%	0.41%
Absorcion	%	0.68%	0.47%
Peso especifico	gr/cc	2.649	2.667

Tabla 9: Propiedades Físicas de los agregados  
Fuente: Propia

### 3.7.3 Calculo de diseño de mezcla

#### 3.7.3.1 Elección de la Resistencia Promedio

Para el diseño se escoge este paso, ya que no se tiene antecedentes de datos como la desviación estándar de resistencia de probetas o controles de calidad. Para ello, se utiliza la tabla N°10 la cual ayuda a determinar la resistencia promedio.

Resistencia promedio	
F'c (kg/cm2)	F'cr(kg/cm2)
Menos 210	F'c +70
210 a 350	F'c +84
sobre 350	F'c +98

Tabla 10: Resistencia Promedio  
Fuente: Propia

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

$$f'_{cr} = 250 +84$$

$$f'_{cr} = 334 \text{ kg/ cm}^2$$

#### 3.7.3.2 Contenido de Aire

Se basa en el Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso según la Tabla N°11. Para el diseño de mezcla el tamaño nominal grueso es de 1/2"

Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso	Aire atrapado
3/8"	3.00%
1/2"	2.50%
3/3"	2.00%
1"	1.50%
1 1/2"	1.00%
2"	0.50%
3"	0.30%
4"	0.20%

Tabla 11: Contenido de Aire Atrapado  
Fuente: Propia

El contenido de aire atrapado para el diseño de mezcla es de 2.50%

### 3.7.3.3 Elección del Asentamiento (Slump)

En este caso como no se tiene una especificación previa o restricción para el requerimiento de Slump para este diseño de mezcla, utilizando la siguiente Tabla N°12.

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	Asentamiento	
	Maximo	Mínimo
Muros de Subestructura sencillos, Zapatas, muros y cajones de cimentación.	7.5	2.5
vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

Tabla N° 12: Tabla de asignación de asentamiento con relación del tipo de construcción  
Fuente: Propia

La elección del Slump será de 10 cm equivalente a 4 pulgadas, ya que el diseño de concreto tiene orientación hacia elementos verticales y horizontales

### 3.7.3.4 Estimación del Agua de Mezclado y Contenido de Aire

La siguiente Tabla N°13 nos proporciona datos sobre la cantidad de agua, está relacionado con el Slump, si el concreto tiene aire incorporado, y los diferentes tamaños máximo nominal del agregado grueso, esta tabla fue recomendada en el comité 211 Del comité ACI.

AGUA EN LT/M <sup>3</sup> DE CONCRETO PARA LOS TAMAÑOS MÁXIMO DE AGREGADO GRUESO Y CON SIST ENCIA INDICADA (N/M)								
SLUMP	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incluido								
2.5 a 5 (1" a 2")	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10 (3" a 4")	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5 (6" a 7")	248	238	216	202	190	178	160	..
Concreto con aire incluido								
2.5 a 5 (1" a 2")	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10 (3" a 4")	202	193	184	175	165	157	138	119
15 a 17.5 (6" a 7")	216	205	197	174	171	166	151	..

*Tabla N°13: Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños de agregado*

*Fuente: ACI 211.1-91- Tabla 6.3.3; Diseño de mezcla de concreto – IMCYC*

Según los datos que se tiene de Slump 4 pulgadas, Concreto sin aire incorporado y el tamaño máximo nominal de nuestro agregado grueso es de 1/2" entonces la cantidad estimada de agua será de 216 litros de agua por m<sup>3</sup>

### 3.7.3.5 Elección de la relación agua/cemento (a/c)

El criterio que se va utilizar para la relación agua – cemento es tener en cuenta la resistencia promedio (f 'cr). Se usará la Tabla siguiente para graficar dicha relación:

Para concretos preparados con cemento Portland tipo 1 o cementos comunes, puede tomarse la relación a/c de la Tabla N° 14.

F <sub>cr</sub> - 28 días (KG/CM <sup>2</sup> )	RELACIÓN AGUA/CEMENTO	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	...
350	0.48	0.4
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74
a/c	0.502	

Tabla N°14: Correspondencia entre relación agua/cemento y la resistencia a la compresión promedio.

Fuente: ACI 211.1-91 – Tabla 6.3.4 (a); Diseño de mezcla de concreto – IMCYC

Para el diseño de mezcla consideramos cemento Portland tipo I, resistencia promedio de 334 kg/ cm<sup>2</sup> y concreto sin aire incorporado. Haciendo una regla de tres simple la obtenemos: de 0.502.

### 3.7.3.6 Cálculo del contenido de Cemento

De lo anterior, la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto es determinada dividiendo la cantidad de agua por la relación a/c.

- Contenido de agua = 216 ts/m<sup>3</sup>
- a/c = 0.502

$$\text{Contenido de cemento } \text{kg/m}^3 = \frac{\text{Contenido de agua mezclado (lts/m}^3\text{)}}{\text{Relación a/c (para } f'_{cr}\text{)}}$$

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{216 \text{ (lts/m}^3\text{)}}{0.502}$$

$$\text{Contenido de cemento} = 430.279 \text{ (kg)}$$

### 3.7.3.7 Estimación del contenido de agregado grueso

El peso del material grueso se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Agregado grueso (kg)} = \frac{b}{b_0} \times \text{peso unitario compactado}$$

El coeficiente  $\frac{b}{b_0}$  se obtiene según la Tabla N°15 que fue elaborada por el comité 211 del ACI que está relacionada con el módulo de fineza del agregado fino y el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto					
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO (mm)		MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA			
		2.4	2.6	2.8	3
9.5	3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
19	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
25	1"v	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
75	3"	0.82	0.8	0.78	0.76
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81
Agregado grueso (kg) = $\frac{B}{B_0}$ x Peso unitario Compactado					948.3

Tabla N° 15: Volumen de agregado grueso (m<sup>3</sup>) por volumen unitario de concreto

Fuente: ACI 211.1-91 – Tabla 6.3.6: Diseño de mezclas de concreto - IMCYC

Entonces, desarrollando la fórmula se tiene los siguientes datos:

- $\frac{b}{b_0} = 0.55 \text{ m}^3$
- Peso unitario compactado = 1724 kg/ m<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} \text{Agregado grueso} &= 0.55 \text{ m}^3 \times 1724 \text{ Kg/ m}^3 \\ \text{Agregado grueso} &= 948.3 \text{ Kg} \end{aligned}$$

### 3.7.3.8. Volúmenes Absolutos

El siguiente paso es determinar el volumen estimado de los siguientes componentes: cemento, piedra, agua y aire que ocupan en un metro cubico. El volumen restante sería de la arena que serviría para hallar el peso de la arena que se necesita para un metro cubico. Para ello, se tiene los datos del peso del cemento y piedra, la cantidad de agua y el porcentaje que aire atrapado.

- Cemento

$$\text{Volumen cemento} = \frac{\text{Contenido de cemento (kg)}}{\text{Peso específico del cemento } \text{kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen cemento} = \frac{430.279(\text{kg})}{31200 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen cemento} = 0.138 \text{ m}^3$$

- Piedra

$$\text{Volumen Piedra} = \frac{\text{Contenido de piedra(kg)}}{\text{Peso específico de piedra } \text{kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen Piedra} = \frac{948.3(\text{kg})}{2667 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen Piedra} = 0.356 \text{ m}^3$$

- El Agua

$$\text{Volumen Agua} = \frac{\text{Contenido de Agua (lts)}}{\text{Peso específico del Agua } \text{lts/m}^3}$$

$$\text{Volumen Agua} = \frac{216(\text{lts})}{1000 \text{ lt /m}^3}$$

$$\text{Volumen Agua} = 0.216 \text{ m}^3$$

- El Aire equivale al 2.5% de un metro cúbico

$$\text{Volumen del aire} = \frac{2.5}{100}$$

$$\text{Volumen del aire} = 0.025 \text{ m}^3$$

### 3.7.3.9 Peso de Agregado Fino

Teniendo el espacio ocupado por los componentes cemento y piedra, la cantidad de agua y el porcentaje que aire atrapado se puede hallar el volumen que ocupara el agregado fino y finalmente estimar el peso que ocupara el agregado fino en el diseño de mezcla con la siguiente formula:

$$\text{Agregado Fino} = \text{Peso específico Arena} \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \times \text{volumen (m}^3\text{)}$$

- *Volumen cemento* = 0.138 m<sup>3</sup>
- *Volumen Piedra* = 0.356 m<sup>3</sup>
- *Volumen Agua* = 0.216 m<sup>3</sup>
- *Volumen del aire* = 0.025 m<sup>3</sup>

Entonces el volumen de arena sería la diferencia de un metro cúbico con la suma de los volúmenes ocupados por el cemento, piedra, agua y aire

- *Volumen Arena* = 1m<sup>3</sup> – 0.734 m<sup>3</sup>

$$\text{Volumen Arena} = 0.266 \text{ m}^3$$

Finalmente, el peso de la arena

$$\text{Agregado Fino} = 703.385 \text{ kg}$$

### 3.7.3.10. Presentación del Diseño en estado seco

En esta parte se muestra los resultados las cantidades obtenidas de los agregados sin efecto de la humedad.

- *Cemento* = 430.279 kg.
- *Piedra* = 948.306 kg.
- *Arena* = 703.385 kg.
- *Agua* = 216 lts .

### 3.7.3.11 Corrección por humedad de los Agregados

Mayormente los agregados gruesos como finos se encuentran expuestos a la humedad del ambiente, es por ello, que es importante considerar el peso que puede variar los agregados por la característica (humedad) que tiene, mediante la siguiente formula:

$$\text{Peso Agregado húmedo}(kg) = (\text{Peso Agregado seco}) \left(1 + \frac{\%W_g}{100}\right)$$

Dónde:

✓  $W_g$  es el porcentaje de absorción del agregado

- Agregado fino

La arena tiene los siguientes datos:

✓ Peso seco de la arena = 703.385 kg

✓  $W_g = 0.22\%$

$$\text{Peso A. fino húmedo} = (703.385 \text{ kg}) \left(1 + \frac{0.22\%}{100}\right)$$

$$\text{Peso A. fino húmedo} = 704.93 \text{ kg}$$

- Agregado Grueso

La piedra tiene los siguientes datos:

✓ Peso seco de la piedra = 948.2 kg

✓  $W_g = 0.41\%$

$$\text{Peso A. grueso húmedo} = (948.2) \left(1 + \frac{0.41\%}{100}\right)$$

$$\text{Peso A. fino húmedo} = 952.088 \text{ kg}$$

### 3.7.3.12 Aporte de Agua a la Mezcla

El agua estimada para la mezcla será afectada por la de humedad de los agregados y su capacidad de absorción de estos.

En el caso de estar secos al aire absorberán agua y disminuirán la relación a/c y la trabajabilidad; caso contrario; si hay humedad aportarán agua a la mezcla aumentando la relación a/c, la trabajabilidad y disminuyendo la resistencia a compresión.

Es por ello, que se hace un ajuste a al volumen del agua con relación de los agregados: grueso y fino para obtener el agua efectiva con la siguiente fórmula:

$$\text{Agua en agregado} = (\text{Peso Agregado seco}) \left( \frac{\%W_g - \%a_f}{100} \right)$$

Dónde:

- ✓  $W_g$  es el porcentaje de absorción del agregado.
- ✓  $a_f$  es el porcentaje de absorción.

- Agregado fino

- ✓ Peso seco de la arena = 701.985 kg
- ✓  $W_g = 0.22\%$
- ✓  $a_f = 0.68\%$

$$\text{Agua en agregado fino} = (703.385) \left( \frac{0.22\% - 0.68\%}{100} \right)$$

$$\text{Agua en agregado fino} = -3.229$$

- Agregado grueso

- ✓ Peso seco de la arena = 948.2 kg
- ✓  $W_g = 0.41\%$
- ✓  $a_f = 0.47\%$

$$\text{Agua en agregado fino} = (948.2) \left( \frac{0.41\% - 0.47\%}{100} \right)$$

$$\text{Agua en agregado fino} = -0.569$$

Por lo tanto, el agua efectiva será el agua estimada más el aporte de agua por medio del agregado fino y grueso, entonces:

$$\text{Agua Efectiva} = 216 - (-0.569 - 3.229)$$

$$\text{Agua Efectiva} = 219.798$$

### 3.7.3.13 Proporcionamiento de Diseño

Finalmente, obtuvimos los pesos (kg / m<sup>3</sup>) de todos los agregados

- Cemento = 430 kg.
- Piedra = 952 kg.
- A. Fino = 705 kg.
- Agua = 220 lts.

### 3.7.4. Elaboración de las muestras de concreto patrón reforzados

#### 3.7.4.1 Probetas de concreto patrón y reforzadas

Para la elaboración de las probetas de concreto patrón se utilizaron moldes de 4 x 8 pulgadas, se hicieron un total de 30 muestras esperando llegar a la resistencia entre 250 kg/cm<sup>2</sup> y 334 kg/cm<sup>2</sup> a compresión.



*Figura 15: Probetas de Concreto Patrón y Reforzadas*

*Fuente: Propia*

Para la elaboración de las probetas de concreto reforzadas con fibra de polipropileno se utilizaron moldes de 4 x 8 pulgadas, este proceso se realizó en dos días consecutivos haciendo un total de 69 muestras esperando llegar a la resistencia entre 250 kg/cm<sup>2</sup> y 360 kg/cm<sup>2</sup> a compresión.



*Figura 16: Probetas de Concreto Patrón y Reforzadas*

*Fuente: Propia*



*Figura 17: Probetas de Concreto Patrón y Reforzadas*

*Fuente: Propia*

El desmolde de las probetas se hizo al día siguiente, procediendo a poner las muestras en el estado de curado, sumergido en piscina con agua; todo este proceso fue realizado en el laboratorio de nuestra universidad con la debida supervisión.

### 3.7.4.2 Vigas de concreto convencional y reforzadas

En el caso de las vigas de concreto convencional se utilizaron moldes de madera con las medidas de 15 x 15 x 45 cm, se elaboraron un total de 9 vigas.

Luego se hizo las vigas de concreto reforzado con fibra de polipropileno se hicieron un total de 15 vigas reforzadas, el desmolde de las vigas se hicieron al día siguiente con el inicio de curado en la piscina.



*Figura 18: Vigas de Concreto Convencional y Reforzadas*

*Fuente: Propia*

### 3.7.5. Proceso de quemado y rehidratación de los testigos

#### 3.7.5.1 Herramientas para el quemado y rehidratación

Para el proceso de quemado de los testigos de concreto convencional y reforzado (probetas y vigas) se utilizaron un parrilla de acero 5/8" corrugado de para poder sostener las probetas y vigas en el momento de quemado.

Para la exposición de los testigos a fuego directo se utilizó dos sopletes de 3" donde el combustible era el gas propano en todo el proceso se utilizó un total 6 balones de gas con el propósito de

cuidar el medio ambiente y tener la menor contaminación también para controlar las temperaturas alcanzadas.

Con la medición de las temperaturas alcanzadas se utilizó un pirómetro digital que cuenta un infrarrojo permitiendo tomar las temperaturas a una distancia adecuada y al momento. La capacidad del pirómetro digital es de 0 C° hasta 1100 C° permitiendo tomar las temperaturas a una distancia de 10 metros aproximadamente.

Para la rehidratación de los testigos se hizo en un lavadero con una manguera.



*Figura 19, 20 y 21: Herramientas para el quemado y rehidratación*

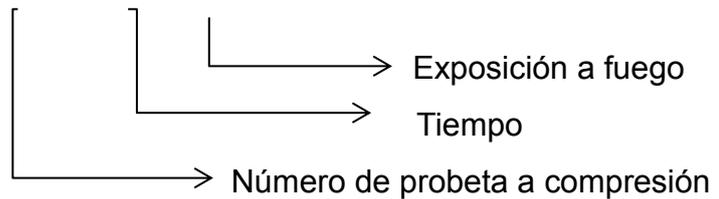
*Fuente: Propia*

### 3.7.5.2 Quemado y rehidratación de los testigos

Se escogieron un total de 24 testigos (probetas reforzadas con fibra de polipropileno) de las cuales 12 son para compresión y 12 para tracción.

De las probetas de compresión se escogieron 6 testigos para ser quemados a dos horas y tres horas teniendo el siguiente código:

PC – H – F



Los 6 restantes testigos se escogieron para ser expuesto a fuego por dos horas y tres horas, también para el proceso de rehidratación teniendo el siguiente código

PC – H – FA

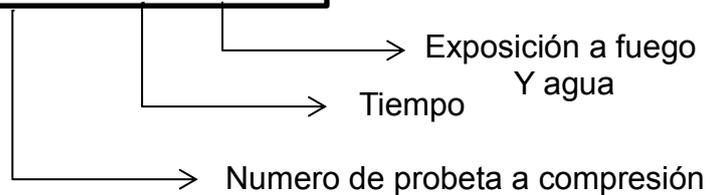
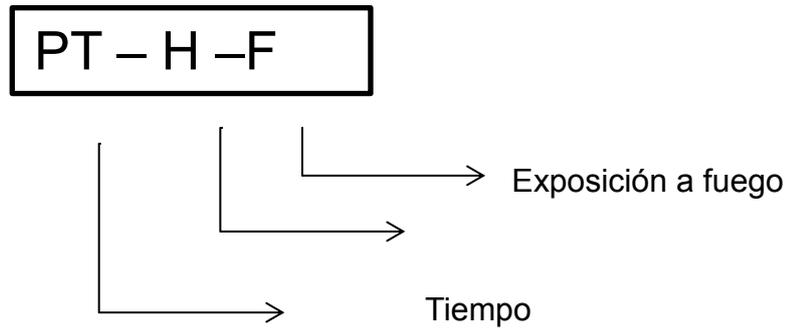


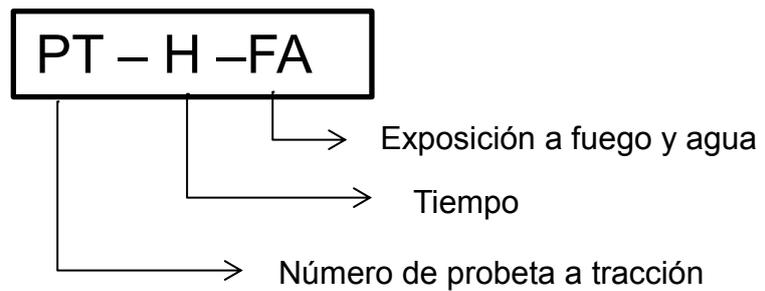
Figura 22: Preparación de los testigos de compresión para el quemado correspondiente

Fuente: Propia

De las probetas de tracción se escogieron 6 testigos para ser quemados a dos horas y tres horas teniendo el siguiente código:



Los 6 restantes testigos se escogieron para ser expuesto a fuego por dos horas y tres horas, también para el proceso de rehidratación teniendo el siguiente código



*Figura 23: Preparación de los testigos de Tracción para el quemado correspondiente*

*Fuente: Propia*

Se inició quemando los testigos que serán sometidos a los ensayos de compresión y tracción. Estos testigos van a ser expuestos a fuego directo y al proceso de rehidratación. Con la ayuda de dos sopletes se hizo el quemado de los testigos (12 testigos para el ensayo de compresión y 12, de tracción) durante el tiempo de dos horas y tres horas alcanzando temperaturas entre 308 °C a 396 °C en los testigos. Después de haber quemado las probetas se inició el proceso de rehidratación por un periodo de 25 minutos (6 testigos, compresión y 6, de tracción) disminuyendo considerablemente la temperatura de los testigos entre 29°C a 40°C.

Durante el quemado de los testigos reforzado con fibra de polipropileno se observó que el nacimiento de fisura en el concreto reforzado con fibra de polipropileno demora más que un concreto convencional. Después de 30 minutos de haber expuesto el concreto a fuego directo este ya no se podía tocar porque ardía considerablemente.



*Figura 24 y 25: Quemado de los testigos para sus respectivos ensayos.*

*Fuente: Propia*

El siguiente quemado es para los testigos en forma de viga (15 x 15 x 45 cm) para ser sometidos a los ensayos de flexión serán expuestos a fuego directo y al proceso de rehidratación. Con la ayuda de dos sopletes se hizo el quemado de los testigos (6 testigos vigas de concreto convencionales y 12 testigos vigas de concreto reforzados con fibra de polipropileno) durante el tiempo de dos horas y tres horas alcanzando temperaturas entre 322 °C a 485 °C en los testigos.

Después de haber quemado las vigas se inició el proceso de rehidratación por un periodo de 25 minutos (6 testigos para el ensayo de flexión) disminuyendo considerablemente la temperatura de los testigos entre 31°C a 38°C.

Durante el quemado de las vigas convencionales y reforzadas con fibra de polipropileno se observó que el nacimiento de fisura en el concreto reforzado con fibra de polipropileno demora más que un concreto convencional. La viga de concreto convencional a un determinado tiempo de quemado presento el efecto spalling desprendido con gran fuerza partes del concreto, también se observó que las vigas reforzadas con fibra de polipropileno tiene un periodo más largo para calentarse en comparación con las vigas de concreto convencional. Durante el proceso de rehidratación cuando las vigas estaban expuestas a agua, las temperaturas decrecen rápidamente y se hace notar más fisuras.



*Figura 26 y Figura 27: Quemado y rehidratación de los testigos para sus respectivos ensayos.*

*Fuente: Propia*

### 3.7.6. Rotura de Probetas y Vigas

#### 3.7.6.1 Proceso de Rotura de Probetas y Vigas

El proceso de rotura que se ha realizado para la obtención de los resultados tanto en el ensayo de compresión, tracción y flexión se realizaron en el laboratorio de la USMP.



*Figura 28: Rotura de vigas para el ensayo de flexión*

*Fuente: Propia*





*Figura 29 y Figura 30: Rotura de probetas en cada uno de sus ensayos.*

Fuente: Propia

CAPÍTULO IV:  
RESULTADOS

4.1 RESISTENCIA DE PROBETAS PATRÓN Y CON REFUERZO DE FIBRA DE POLIPROPILENO

Para comprobar que el diseño de mezcla está bien elaborado se hace la evaluación a las probetas de concreto patrón según la norma ASTM C31. Hace referencia que se tiene que hacer la prueba a compresión a testigos según determinado periodo que es 3 ,7 14 21 y 28 días después de elaboración de la mezcla. Se obtuvo los siguientes resultados de la resistencia a compresión de acuerdo a los 7, 14, 21 y 28 días. Obteniendo como resultado final la resistencia de nuestro concreto patrón es 324.87 Kg/cm<sup>2</sup> como se muestra en la tabla N° 16.

Probetas Patron
<b>RESISTENCIA A 7 DIAS</b>
289.99
<b>RESISTENCIA A 14 DIAS</b>
307.97
<b>RESISTENCIA A 21 DIAS</b>
321.34
<b>RESISTENCIA A 28 DIAS</b>
324.87

Tabla N° 16: Probetas Patrón

Fuente: Propia

El siguiente paso es elaborar nuestra mezcla de concreto adicionando la fibra. Según las especificaciones técnicas de la fibra se tiene que adicionar 300 gr cada metro cubico de concreto para la correcta funcionalidad de la fibra. El mezclado del concreto reforzado se hizo en dos días.

Para comprobar que la muestra reforzada está bien cumple con el diseño de mezcla se vuelve a evaluar las resistencia a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días. Obteniendo como resultado final la resistencia promedio del concreto reforzado es 356.675 Kg/cm<sup>2</sup> que representa 1.1% más de resistencia con respecto con la mezcla patrón (sin refuerzo). La siguiente tabla N° 17 muestra la resistencia a los días requeridas.

Probetas con fibra de polipropileno 11/04/19	Probetas con fibra de polipropileno 12/04/19
<b>RESISTENCIA A 7 DIAS</b>	
303.74	314.29
<b>RESISTENCIA A 14 DIAS</b>	
333.87	334.66
<b>RESISTENCIA A 21 DIAS</b>	
347.06	348.40
<b>RESISTENCIA A 28 DIAS</b>	
353.70	359.65

*Tabla N° 17: Resistencia de Probetas reforzado con fibra de polipropileno*

*Fuente: Propia*

#### 4.2 RESISTENCIA DE PROBETAS EXPUESTAS AL FUEGO Y REHIDRATACIÓN DEL CONCRETO CONVECCIONAL Y REFORZADO

Después del proceso de quemado y de rehidratación en los testigos de concreto reforzado con fibra de polipropileno, Obtendremos resultados de Los siguientes ensayos según la NTP 339.034

- Ensayo a la compresión
- Ensayo a la tracción
- Ensayo a la flexión

Los resultados obtenidos de nuestro concreto reforzado con fibra de polipropileno serán comparados con los resultados del modelo convencional de relación agua cemento 0.60 teniendo una resistencia a la compresión de 358.3 kg/cm<sup>2</sup> obtenida de la tesis “Evaluación de la resistencia mecánica de concreto sometido a altas temperaturas por incidencia del fuego directo” del autor HUINCHO SALVATIERRA, MARK (2017)

#### 4.2.1 Resistencia a la Compresión

Las pruebas se realizaron a los testigos de 4 x 8 pulgadas. Luego del proceso de quemado en un terminado tiempo que fue de dos horas y tres horas seguido del proceso de rehidratación con agua que se hizo por 25 minutos. Los resultados que se mostrará en la siguiente Tabla N° 18 fueron obtenidos a las 24 horas del proceso de quemado y hacen referencia a las resistencias y temperaturas promedios.

RESISTENCIAS PROMEDIO A COMPRESION									
CONCRETO CONVENCIONAL a/c 0.65 EXPUESTO AL FUEGO DIRECTO			CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO a/c 0.50 EXPUESTO A FUEGO DIRECTO			CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO a/c 0.50 EXPUESTO A FUEGO DIRECTO Y A REHIDRATACION POR 25 MINUTOS			
CODIGO	°C	FC (Kg/cm <sup>2</sup> )	CODIGO	°C	FC (Kg/cm <sup>2</sup> )	CODIGO	°C	°C-25	FC (Kg/cm <sup>2</sup> )
PO	28	358	PO	18	357	PO	18	18	357
PC-2H-F	370	243	PC-2H-F	314	316	PC-2H-FA	323	35	257
PC-3H-F	437	102	PC-3H-F	389	282	PC-3H-FA	388	34	210

Tabla N° 18: Resistencia de Promedios a compresión

Fuente: Propia

Los resultados de los decrementos de la resistencia del concreto convencional y reforzado con la fibra de polipropileno están en relación con el tiempo de exposición al fuego directo y al proceso

de rehidratación como se observa en las Figura 21, Figura 22, Figura 23

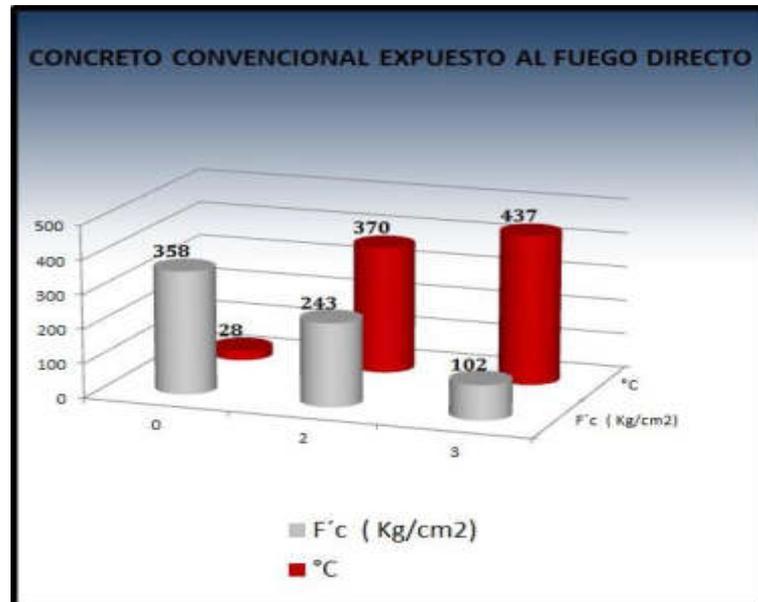


Figura 31: Concreto convencional expuesto al fuego directo  
Fuente: Propia

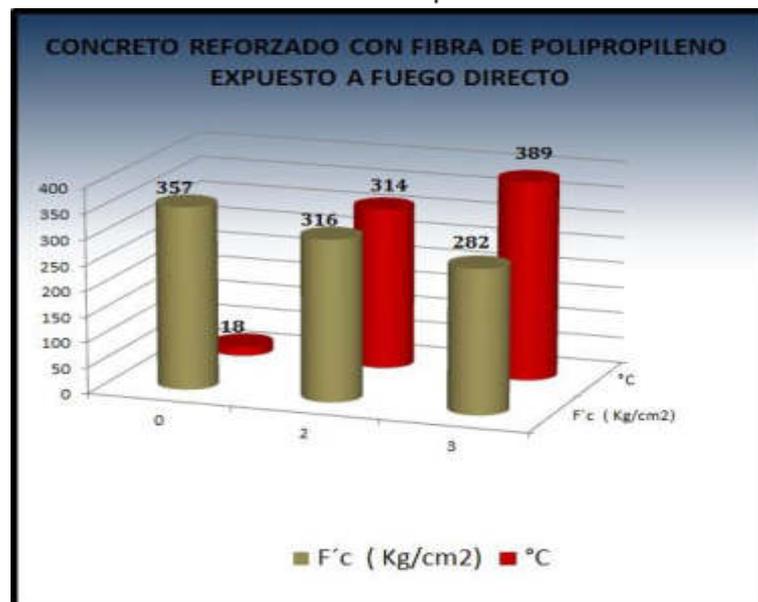


Figura 32: Concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego directo.  
Fuente: Propia

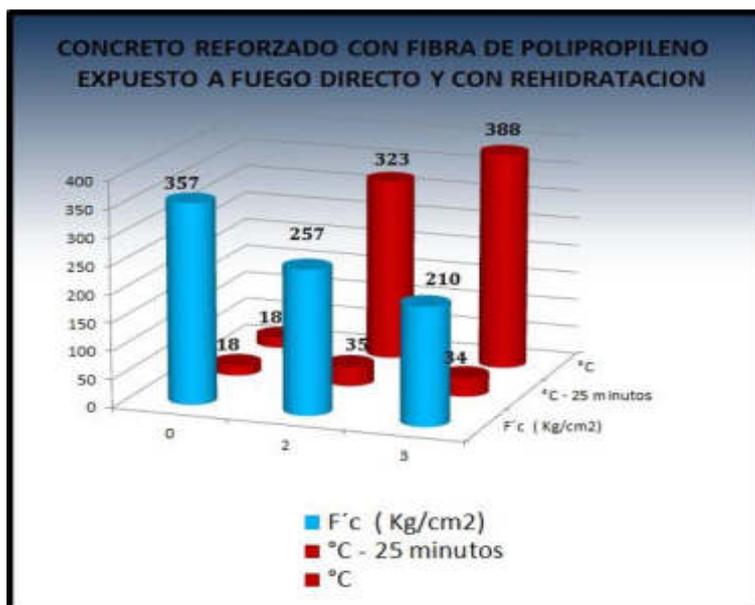


Figura 33: Concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego directo y rehidratación.  
Fuente: Propia

Con estos resultados se ha detallado la pérdida de resistencia representada en cantidad y en porcentaje en cada tiempo (2 horas y 3 horas) con su determinada temperatura expuesto a fuego directo y con la temperatura luego de haber acabado la rehidratación con agua sobre los testigos como se muestra en la siguiente Tabla N° 19.

PERDIDA DE RESISTENCIA PROMEDIO A COMPRESION						
TIPO DE CONCRETO	CODIGO	TIEMPO	F'c(Kg/cm2)	F'c(%) PERDIDA	°C	°C - 25 minutos
CONCRETO CONVENCIONAL EXPUESTO A FUEGO DIRECTO	PO	0	358	0%	28	-
	PC-2H-F	2	243	32%	370	-
	PC-3H-F	3	102	72%	437	-
CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO DIRECTO	PO	0	357	0%	18	-
	PC-2H-F	2	316	12%	314	-
	PC-3H-F	3	282	21%	389	-
CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO DIRECTO Y REHIDRATACION	PO	0	357	0%	18	18
	PC-2H-FA	2	257	28%	323	35
	PC-3H-FA	3	210	41%	388	34

Tabla N° 19: Resistencia de Promedios a compresión  
Fuente: Propia

Se hace un comparativo entre el concreto convencional expuesto a fuego directo, concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto a fuego directo y el concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto a fuego directo y rehidratación la figura 23 muestra el decremento de la resistencia representado cuantitativamente, mientras que la figura 24 se observa el decremento de la resistencia a compresión representado en porcentaje.

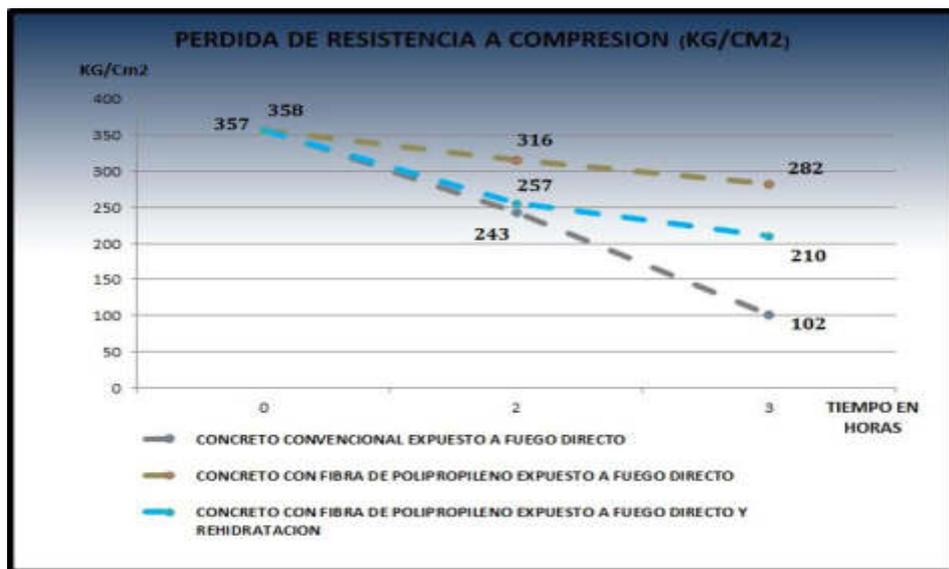


Figura 34: Pérdida de Resistencia  $F_c$  (Kg/cm<sup>2</sup>)  
Fuente: Propia

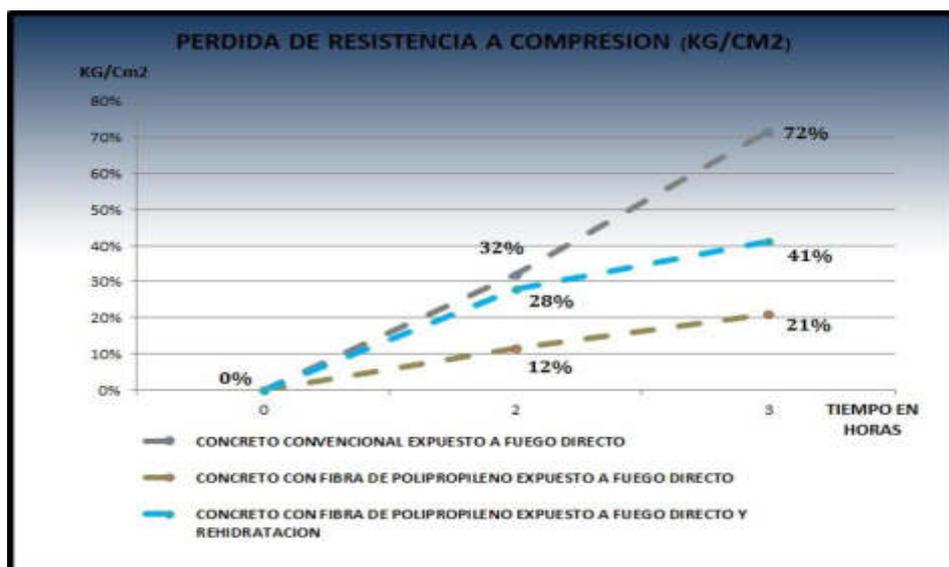


Figura 35: Pérdida de Resistencia  $F_c$  (%)  
Fuente: Propia

#### 4.2.2 Resistencia a Tracción

Los ensayos a tracción se hizo a los testigos de 4 x 8 pulgadas. Luego del proceso de quemado en un terminado tiempo que fue de dos horas y tres horas seguido del proceso de rehidratación con agua que se hizo por 25 minutos. Los resultados que se mostrará en la siguiente Tabla N° 20 fueron obtenidos a las 24 horas del proceso de quemado y hacen referencia a las resistencias y temperaturas promedios.

RESISTENCIAS PROMEDIO A TRACCION									
CONCRETO CONVENCIONAL a/c 0.65 EXPUESTO AL FUEGO DIRECTO			CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO a/c 0.50 EXPUESTO A FUEGO DIRECTO			CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO a/c 0.50 EXPUESTO A FUEGO DIRECTO Y A REHIDRATAACION POR 25 MINUTOS			
CODIGO	°C	T (Kg/cm2)	CODIGO	°C	T (Kg/cm2)	CODIGO	°C	°C 25	T (Kg/cm2)
CPO-0.65	28	42	PT	18	26	PT	18	18	26
CP02-2	341	25	PF-2H	323	23	PFA-2H	330	32	16
CP02-3	452	17	PF-3H	387	18	PFA-3H	388	38	13

Tabla N° 20: Resistencia de Promedios a Tracción  
Fuente: Propia

Los resultados de los decrementos de la resistencia a tracción (kg/cm<sup>2</sup>) del concreto convencional y reforzado con la fibra de polipropileno esta relación con el tiempo de exposición al fuego directo y al proceso de rehidratación como se observa en las figura 25, Figura 26 , figura 27.

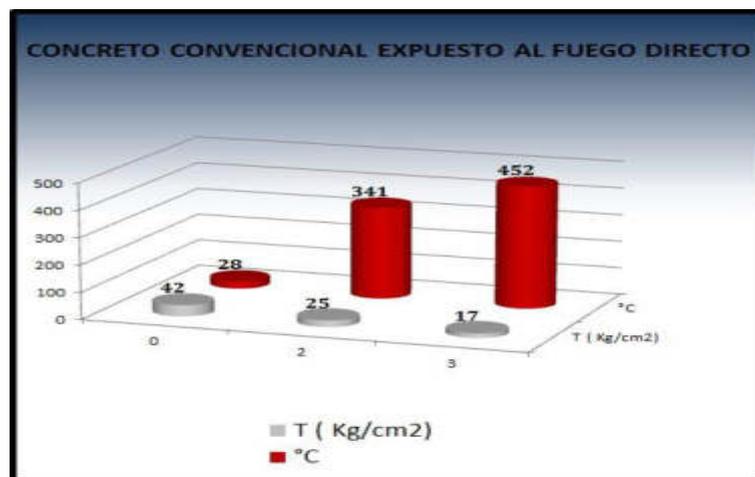


Figura 36: Concreto convencional expuesto al fuego directo  
Fuente: Propia

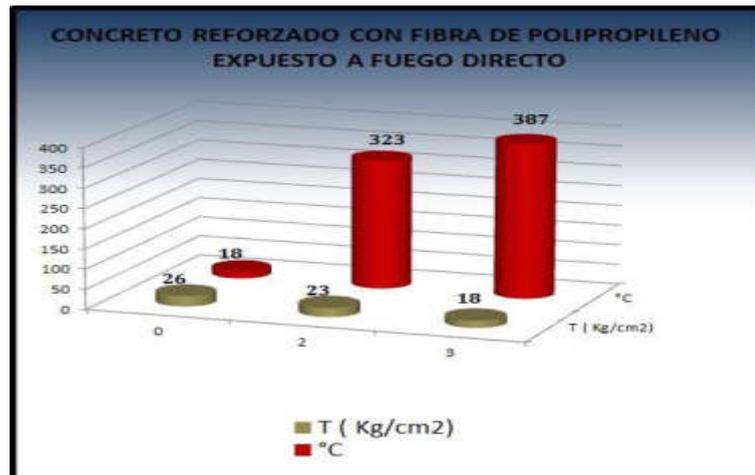


Figura 37: Concreto reforzado con fibra de Polipropileno  
Expuesto al fuego directo.  
Fuente: Propia



Figura 38: Concreto reforzado con fibra de polipropileno  
expuesto al fuego directo y con rehidratación.  
Fuente: Propia

Con estos resultados de resistencia a tracción se ha detallado la pérdida de resistencia representada en cantidad y en porcentaje en cada tiempo (2 horas y 3 horas) con su determinada temperatura expuesto a fuego directo y con la temperatura luego de haber acabado la rehidratación con agua sobre los testigos como se muestra en la siguiente Tabla N° 21.

PERDIDA DE RESISTENCIA PROMEDIO A TRACCION						
TIPO DE CONCRETO	CODIGO	TIEMPO	traccion	T (%) PERDIDA	°C	C° - 25 minutos
CONCRETO CONVENCIONAL EXPUESTO A FUEGO DIRECTO	PO	0	42	0%	28	-
	PF-2H	2	25	42%	341	-
	PF-3H	3	17	61%	452	-
CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO DIRECTO	PO	0	26	0%	18	-
	PF-2H	2	23	11%	323	-
	PF-3H	3	18	31%	387	-
CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO DIRECTO Y REHIDRATACION	PO	0	26	0%	18	18
	PFA-2H	2	16	38%	330	32
	PFA-3H	3	13	50%	388	38

Tabla N° 21: Resistencia de Promedios a Tracción  
Fuente: Propia

Se hace un comparativo entre el concreto convencional expuesto a fuego directo, concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto a fuego directo y el concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto a fuego directo y rehidratación la figura 28 muestra el decremento de la resistencia a tracción (kg/cm<sup>2</sup>) representado cuantitativamente, mientras que la figura 29 se observa el decremento de la resistencia a tracción (kg/cm<sup>2</sup>) representado en porcentaje.

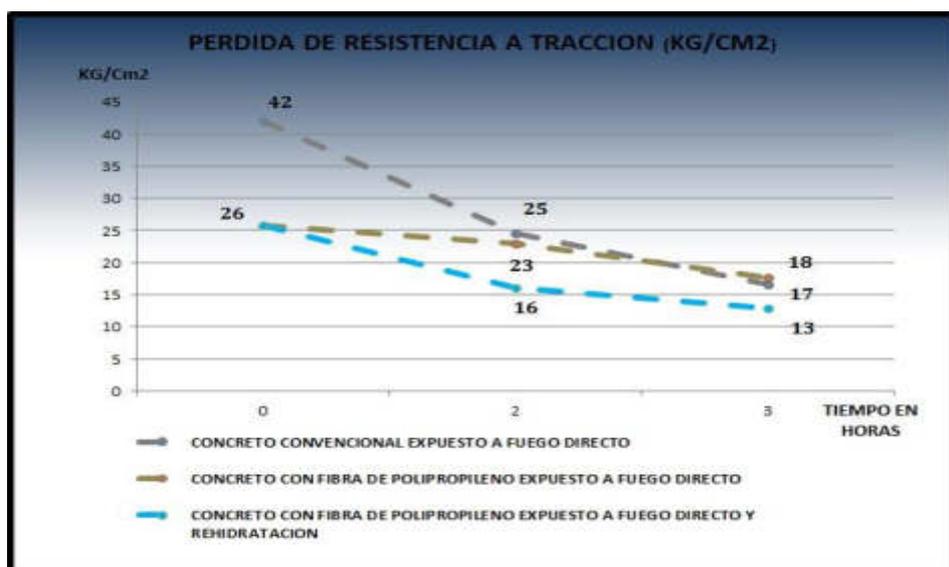


Figura 39: Pérdida de Resistencia F'c (Kg/cm<sup>2</sup>)  
Fuente: Propia



Figura 40: Pérdida de Resistencia  $F_c$  (%)  
Fuente: Propia

#### 4.2.3 Resistencia a Flexión

Los ensayos a flexión se realizaron a los testigos de concreto convencional en forma de vigas de 15 x 15 x 45 centímetros. Luego del proceso de quemado en un terminado tiempo que fue de dos horas y tres horas seguido del proceso de rehidratación con agua que se hizo por 25 minutos. Los resultados que se mostrará en la siguiente Tabla N° 22 fueron obtenidos a las 24 horas del proceso de quemado y hacen referencia a las resistencias y temperaturas promedios.

RESISTENCIAS PROMEDIO A FLEXION									
CONCRETO CONVENCIONAL a/c 0.65 EXPUESTO AL FUEGO DIRECTO			CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO a/c 0.50 EXPUESTO A FUEGO DIRECTO			CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO a/c 0.50 EXPUESTO A FUEGO DIRECTO Y A REHIDRATACION POR 25 MINUTOS			
CODIGO	°C	F (Kg/cm2)	CODIGO	°C	F (Kg/cm2)	CODIGO	°C	°C 25	F (Kg/cm2)
V-SF	22	55	V-CF	22	60	V-CF	22	22	60
V-SF-2H-F	365	25	V-CF-2H-F	329	31	V-CF-2H-FA	329	33	20
V-SF-3H-F	470	11	V-CF-3H-F	426	25	V-CF-3H-FA	418	35	16

Tabla N° 22: Resistencia de Promedios a Flexión  
Fuente: Propia

Los resultados de los decrementos de la resistencia a Flexión (kg/cm<sup>2</sup>) del concreto convencional y reforzado con la fibra de polipropileno esta relación con el tiempo de exposición al fuego directo y al proceso de rehidratación como se observa en las figura 30, Figura 31 , figura 32.

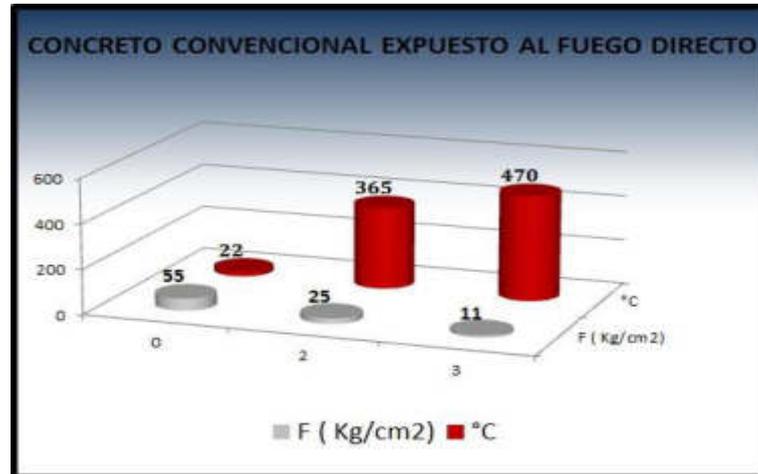


Figura 41: Concreto convencional expuesto al Fuego directo.  
Fuente: Propia



Figura 42: Concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego directo.  
Fuente: Propia



Figura 43: Concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego directo y con rehidratación.

Fuente: Propia

Con los resultados de resistencia a flexión se detalla la pérdida de resistencia representada en cantidad y en porcentaje en cada tiempo (2 horas y 3 horas) con su determinada temperatura expuesto a fuego directo y con la temperatura luego de haber acabado la rehidratación con agua sobre los testigos como se muestra en la siguiente Tabla 23.

PERDIDA DE RESISTENCIA PROMEDIO A FLEXION						
TIPO DE CONCRETO	CODIGO	TIEMPO	FLEXION	F (%) PERDIDA	°C	°C - 25 minutos
CONCRETO CONVENCIONAL EXPUESTO A FUEGO DIRECTO	V-SF	0	55	0%	22	-
	V-SF-2H-F	2	25	55%	365	-
	V-SF-3H-F	3	11	80%	470	-
CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO DIRECTO	V-CF	0	60	0%	22	-
	V-CF-2H-F	2	31	48%	329	-
	V-CF-3H-F	3	25	58%	426	-
CONCRETO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO DIRECTO Y REHIDRATACION	V-CF	0	60	0%	22	22
	V-CF-2H-FA	2	20	68%	329	33
	V-CF-3H-FA	3	16	73%	418	35

Tabla N° 23: Resistencia de Promedios a Flexión

Fuente: Propia

Se hace un comparativo entre el concreto convencional expuesto a fuego directo, concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto a fuego directo y el concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto a fuego directo y rehidratación la figura 33 muestra el decremento de la resistencia a tracción (kg/cm2) representado cuantitativamente, mientras que la figura 34 se observa el decremento de la resistencia a tracción (kg/cm2) representado en porcentaje.



Figura 44: Pérdida de Resistencia  $F'c$  (Kg/cm<sup>2</sup>)  
Fuente: Propia



Figura 45: Pérdida de Resistencia  $F'c$  (%)  
Fuente: Propia

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la tesis de Yovana Dias Silva hace uso de la fibra de polipropileno en un diseño de mezcla para el concreto para un diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup> tanto resistencia a la compresión y flexión, donde su proceso de elaboración estuvo dividido en 3 etapas, donde una de ellas está la adición de la fibra de polipropileno, siendo los resultados favorables para el concreto, ya que su resistencia en los días 7, 14 y 28 sufre un aumento de resistencia en la cual coincide con nuestros resultados, donde, también, sufre un cambio de resistencia a favor del concreto, la diferencia que existe entre la tesis de Yovana Dias, es que además la fibra de polipropileno hace la adición de un aditivo plastificante.

En la tesis de Mark Huincho Salvatierra (2017), en su investigación llegó a la conclusión que un concreto convencional (piedra, arena cemento y agua) tiene considerable pérdida de resistencia por exposición al fuego directo durante el tiempo de dos y tres horas; mientras que en esta presente investigación se elaboró un concreto reforzado con fibra de polipropileno, también fue expuesto a fuego por el periodo de dos y tres horas determinado una leve pérdida de resistencia en comparación con el concreto convencional de Mark Huincho.

El concreto convencional de resistencia inicial a compresión 358.3 kg/cm<sup>2</sup> expuesto al fuego directo por dos y tres horas tiene una pérdida de resistencia a compresión del 32% y 72% respectivamente mientras que el concreto reforzado con fibra de polipropileno tiene una resistencia inicial de 356.7 kg/cm<sup>2</sup> con el mismo periodo de tiempo tiene la pérdida a compresión del 12% en el periodo de 2 horas expuesto al fuego y 21 % en el periodo de 3 horas expuesto al fuego



*Figura 46: Pérdida de resistencia a compresión del concreto convencional y concreto reforzado con fibra de polipropileno.  
Fuente: Propia*

El concreto convencional de resistencia inicial a tracción es de 42 kg/cm<sup>2</sup> expuesto al fuego directo por dos y tres horas tiene una pérdida de resistencia a compresión del 42% y 61% respectivamente, mientras que el concreto reforzado con fibra de polipropileno tiene una resistencia inicial de 26 kg/cm<sup>2</sup> con el mismo periodo de tiempo tiene la pérdida a compresión del 11% en el periodo de 2 horas expuesto al fuego y 31 % en el periodo de 3 horas expuesto al fuego.



*Figura 47: Pérdida de resistencia a tracción del concreto convencional y concreto reforzado con fibra de polipropileno.  
Fuente: Propia*

Se observa que la fibra de polipropileno es buen refuerzo para el concreto expuesto al fuego demostrando que tiene una leve pérdida de resistencia.

La norma ISO 834 hace referencia que el concreto cuando se enfría sus propiedades mecánicas pueden disminuir en función del método de extinción. En la presente tesis, el concreto reforzado con fibra de polipropileno es expuesto al fuego y luego a dos procesos de rehidratación para reducir la temperatura que alcanzó por exposición al fuego. El primero es un proceso de rehidratación natural (a temperatura ambiente) donde el concreto utiliza la humedad que hay en el medio ambiente para reducir su temperatura; el segundo, es por acción del hombre donde el concreto es expuesto al agua.

En el proceso de rehidratación por acción del hombre, se tiene un concreto reforzado con fibra de polipropileno con una resistencia inicial a compresión de 356.7 kg/cm<sup>2</sup> luego de haber sido expuesto al fuego directo por periodos de dos y tres horas, seguidamente expuesto al proceso de rehidratación por 25 minutos su resistencia a compresión decrece el 28% y 41% respectivamente; mientras que cuando es expuesto al proceso de rehidratación natural (por la humedad del medio ambiente) hay una leve pérdida de resistencia a compresión que es el 12% y 21%.

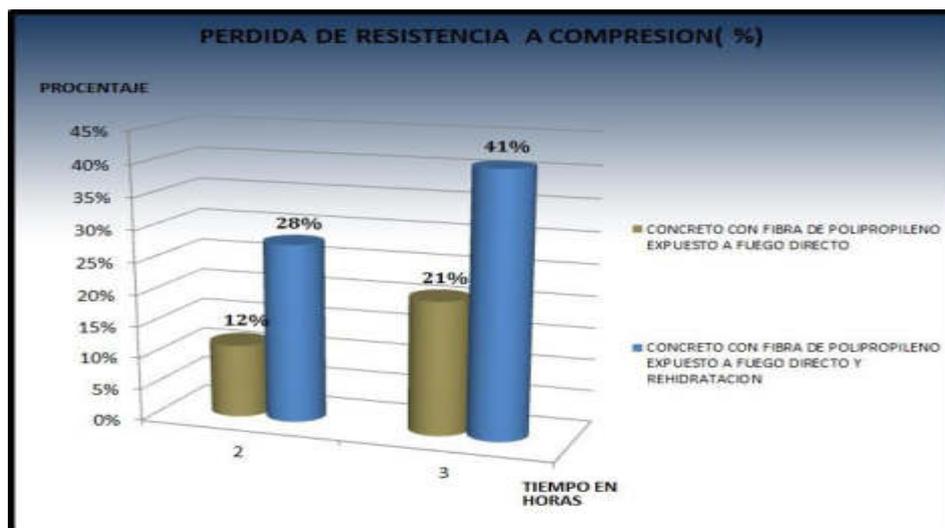


Figura 48: Pérdida de resistencia a compresión del concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego y al proceso de rehidratación  
Fuente: Propia

En lo que refiere a la resistencia a tracción la resistencia inicial del concreto reforzado con fibra de polipropileno es de 26 kg/cm<sup>2</sup> y luego de ser expuesto al fuego por periodo de dos y tres horas, seguidamente al proceso de rehidratación con agua por 25 minutos se determina que hay una pérdida de 16% y 13% respectivamente; mientras que cuando es expuesto al proceso de rehidratación por la humedad tiene pérdida de 23% y 18%.



*Figura 49: Pérdida de resistencia a tracción del concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego y al proceso de rehidratación*  
*Fuente: Prooia*

En cuanto a la resistencia inicial a flexión es de 60 kg/cm<sup>2</sup> y luego de ser expuesto al fuego por periodo de dos y tres horas, seguidamente al proceso de rehidratación con agua por 25 minutos se determina que hay una pérdida de 48% y 58% respectivamente. Mientras que cuando es expuesto al proceso de rehidratación por la humedad tiene pérdida de 68% y 73%.



Figura 50: Pérdida de resistencia a flexión del concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto al fuego y al proceso de rehidratación  
Fuente: Propia

En la investigación realizada por Huincho Salvatierra, Mark (2017) hace referencia a las temperaturas promedio alcanzadas del concreto convencional expuesto al fuego es de 273°C, 350°C y 434°C para el periodo de una, dos y tres horas respectivamente y que está relacionado directamente con la pérdida de resistencia mecánica del concreto.

La norma ISO 834 hace referencia del comportamiento del concreto frente a elevadas temperaturas donde el concreto pierde propiedades físicas y mecánicas, de 200°C a 300°C el concreto empieza deshidratarse, de 300°C a 400°C aparecen fisuras en el concreto, de 400°C a 600°C desprendimiento de cal viva a partir del hidróxido cálcico de hidratación de silicatos, de 600 a 950°C el concreto aumenta su coeficiente de porosidad y porosidad de la resistencia entre 60% y 90% y de 950°C y 1200°C el concreto pierde su utilidad por la destrucción de conglomerados. Esto quiere decir que a mayor temperaturas por causa del fuego el concreto se ve perjudicado.

Además, la presente investigación hace demostración que al elevar la temperatura en el concreto reforzado con fibra de polipropileno este tiene pérdida de resistencia teniendo una relación directamente proporcional en el incremento de la temperatura y la cantidad de tiempo expuesto al

fuego con la pérdida de resistencia ,pero la fibra de polipropileno ayuda al concreto frente al fuego. En cuanto al cambio brusco de temperatura en el concreto reforzado con fibra de polipropileno ocasionado por el proceso de rehidratación se determina que perjudica considerablemente la resistencia mecánica.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. La fibra de polipropileno ayuda retardar el efecto spalling que ocurre en el concreto, esto debido a la incineración de la fibra en el interior del concreto generando caminos para la expulsión del vapor interior.
2. El decremento de las resistencias mecánicas del concreto reforzado con fibra de polipropileno disminuye en una menor proporción luego de haber estado bajo la exposición al fuego en comparación a un concreto convencional.

En ese sentido, expuesto a fuego directo por dos horas y Tres horas tiene decrementos de 12% y 21% en la resistencia a compresión respectivamente mientras que el concreto convencional por el mismo periodo de tiempo tiene decrementos de 32% y 72% respectivamente.

Por lo tanto, expuesto a fuego directo por dos horas y Tres horas tiene decrementos de 11% y 31% en la resistencia a tracción respectivamente mientras que el concreto convencional por el mismo periodo de tiempo tiene decrementos de 42% y 61% respectivamente.

Se concluye, que la influencia de la fibra en el concreto hace que su resistencia a compresión y tracción tenga una mejora frente a la exposición al fuego.

3. El decremento de la resistencia a compresión, tracción y flexión decrece considerablemente luego de haber bajado rápidamente la temperatura del concreto en el proceso de rehidratación durante un tiempo determinado.  
El concreto reforzado con fibra de polipropileno expuesto a fuego directo por dos horas, Tres horas y al proceso de rehidratación con agua durante 25 minutos tiene decrementos de 28% y 41% en la resistencia a compresión

respectivamente; mientras que cuando es expuesto a fuego por el mismo periodo de tiempo de dos horas y tres horas, y al proceso de rehidratación a temperatura ambiente por 24 horas tiene decrementos de resistencia de 28% y 41% respectivamente.

Además, expuesto a fuego directo por dos horas, Tres horas y al proceso de rehidratación con agua durante 25 minutos tiene decrementos de 38% y 50% en la resistencia a tracción respectivamente; mientras que cuando es expuesto a fuego por el mismo periodo de tiempo de dos horas y tres horas, y al proceso de rehidratación a temperatura ambiente por 24 horas tiene decrementos de resistencia de 11% y 31% respectivamente.

Asimismo, expuesto a fuego directo por dos y tres horas al proceso de rehidratación con agua durante 25 minutos tiene decrementos de 68% y 73% en la resistencia a flexión respectivamente; mientras que cuando es expuesto a fuego por el mismo periodo de tiempo de dos horas y tres horas, y al proceso de rehidratación a temperatura ambiente por 24 horas tiene decrementos de resistencia de 48% y 58% respectivamente.

Esto nos hace concluir que los incendios las acciones de los bomberos para sofocar estos hechos son perjudiciales para el concreto que el cambio de temperatura bruscamente en este elemento perjudica las resistencias.

4. A pesar que el concreto tiene baja conductividad de temperatura la fibra ayuda a mejorar esta característica. El incremento de la temperatura durante la exposición al fuego está relacionado directamente con la pérdida de resistencia, ya que genera espacios vacíos dentro del concreto, y al haber espacios vacíos, en los ensayos mecánicos, los efectos no son poco favorables, pero si está en comparación a un concreto convencional, si se encuentra una mejora.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

- Acero R, Juan Carlos (2014). ¿Pueden Las fibras sintéticas reemplazar la armadura convencional?, Perú.
- Alvarado Aguirre, Giovanni Josue (2016). Estudio del comportamiento del concreto estructural expuesto al fuego, Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (Tesis Profesional), Ambato, Ecuador.
- Cemex (2016) Uso de Fibras como refuerzo del hormigón, México.
- Cornejo, Laureano (2014) Nuevas Tecnologías y Materiales. Ensayos para medir el efecto de las fibras en el hormigón, España.
- Dias Silva, Yovana (2017). Diseño de mezcla de concreto permeable elaborado con aditivo y adición de fibra de polipropileno para uso en pavimentos, en la ciudad de Cajamarca, Universidad Nacional de Cajamarca (Tesis Profesional), Cajamarca, Perú.
- Euvlid Group Toxement, (2018). Guía para el uso de fibras sintéticas de Toxement en el concreto, Perú.
- Garcia Ayma, r Pedro Antonio, (2007). Verificación de la dosificación de fibras sintéticas para neutralizar las fisuras causadas por contracción plástica en el concreto, Universidad Ricardo Palma (Tesis Profesional), Lima, Perú.
- Huincho Salvatierra, Mark (2017). Evaluación de la Resistencia Mecánica del concreto sometido a altas temperaturas por incidencia del fuego directo, Universidad Nacional de Ingeniería (Tesis Profesional), Lima, Perú.

- Instituto Mexicano del cemento y del concreto (Imcyc), 2007. Concreto reforzado con fibras, problemas, causas y soluciones, México.
- Marie Day, Martha ED.D y Carpi, Anthony PH.D. (2003). Propiedades Físicas de la Temperatura, Apoyados por la Fundacional Nacional de la Ciencia y Departamento de Educación de Estados Unidos.
- Terreros Rojas, Luis Eduardo y otros (2016) Análisis de las propiedades Mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de Cáñamo, Universidad Católica de Colombia (Tesis Profesional), Bogotá, Colombia.

Tomás Riera, José y otros (2015) . Pérdida de la Resistencia Mecánica del Hormigón paraguayo debido a la acción del fuego, congreso nacional de Ingeniería Civil, Paraguay.

## ANEXOS

### ANEXO1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

<b>INFLUENCIA DEL PROCESO DE REHIDRATACION EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO POR EXPOSICION AL FUEGO DIRECTO</b>					
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	PROBLEMA		METODOLOGIA
			VARIABLES	DIMENSIONES	
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES INDEPENDIENTE		DISEÑO DE INVESTIGACION
¿CÓMO INFLUYE EL PROCESO DE REHIDRATACIÓN EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO POR EXPOSICIÓN AL FUEGO DIRECTO?	ANALIZAR LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE REHIDRATACIÓN EN EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO POR EXPOSICIÓN AL FUEGO POR MEDIO DE LA RESISTENCIA MECÁNICA.	EL PROCESO DE REHIDRATACIÓN CON AGUA EN EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO HACE QUE LA RESISTENCIA DISMINUYA EN MAYOR PORCENTAJE A COMPARACIÓN DEL PROCESO DE REHIDRATACIÓN A TEMPERATURA AMBIENTE.	PROCESO DE REHIDRATACION	REHIDRATACION CON AGUA  REHIDRATACION AL MEDIO AMBIENTE	EXPERIMENTAL
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVO ESPECIFICO	HIPOTESIS ESPECIFICO	VARIABLES DEPENDIENTE		TIPO DE INVESTIGACION
¿CÓMO INFLUYEN LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO EN EL CONCRETO FRENTE A LA EXPOSICIÓN DEL FUEGO DIRECTO?	DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO EN EL CONCRETO POR EXPOSICIÓN AL FUEGO.	LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO MEJORA LA RESISTENCIA DEL CONCRETO FRENTE A LA EXPOSICIÓN DEL FUEGO.	RESISTENCIA	RESISTENCIA A COMPRES	APLICADA
¿CUÁNTO ES LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN, TRACCIÓN Y FLEXIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO DIRECTO?	DETERMINAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN, TRACCIÓN Y FLEXIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO AL FUEGO POR MEDIO DE PRUEBAS MECÁNICAS.	EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO TIENE UN LEVE DESCENSO EN LA RESISTENCIA POR LA EXPOSICIÓN AL FUEGO DIRECTO		NIVEL DE INVESTIGACION	
¿CUÁNTO ES LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN, TRACCIÓN Y FLEXIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO DIRECTO Y AL PROCESO DE REHIDRATACIÓN?	DETERMINAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN, TRACCIÓN Y FLEXIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO AL FUEGO Y AL PROCESO DE REHIDRATACIÓN POR MEDIO DE PRUEBAS MECÁNICAS.	EL PROCESO DE REHIDRATACIÓN AUMENTA LA PERDIDA DE RESISTENCIA EN EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO QUE HA SIDO EXPUESTO AL FUEGO.		CORRELACIONAL	
¿CÓMO SE RELACIONA EL CAMBIO DE TEMPERATURAS EN EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO AL FUEGO Y AL PROCESO DE REHIDRATACIÓN CON LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA?	DETERMINAR LA RELACIÓN DEL CAMBIO DE TEMPERATURAS EN EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO AL FUEGO Y AL PROCESO DE REHIDRATACIÓN CON LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA.	EL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO ESTÁ RELACIONADO DIRECTAMENTE CON LA PÉRDIDA DE RESISTENCIA MECÁNICA Y EL CAMBIO BRUSCO DE TEMPERATURA DEL CONCRETO EXPUESTO AL FUEGO POR EL PROCESO DE REHIDRATACIÓN HACE QUE PERJUDIQUE CONSIDERABLEMENTE EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO.		RESISTENCIA A FLEXION	

ANEXO 2: CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES</b>			
<b>OBJETIVO GENERAL</b>			
<b>ANALIZAR LA INFLUENCIA DEL PROCESO DE REHIDRATACIÓN EN EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO POR EXPOSICIÓN AL FUEGO POR MEDIO DE LA RESISTENCIA MECÁNICA.</b>			
<b>OBJETIVO ESPECIFICO</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES - UNIDAD</b>
DETERMINAR LA INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO EN EL CONCRETO POR EXPOSICIÓN AL FUEGO.	DEPENDIENTE	RESISTENCIA A COMPRESION	AREA Cm2
	RESISTENCIA MECANICA		
DETERMINAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN, TRACCIÓN Y FLEXIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO AL FUEGO POR MEDIO DE PRUEBAS MECÁNICAS.	INDEPENDIENTE	RESISTENCIA A FLEXION	
DETERMINAR LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN, TRACCIÓN Y FLEXIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO AL FUEGO Y AL PROCESO DE REHIDRATACIÓN POR MEDIO DE PRUEBAS MECÁNICAS.		REHIDRATACION CON AGUA	TIEMPO HORAS
DETERMINAR LA RELACIÓN DEL CAMBIO DE TEMPERATURAS EN EL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO AL FUEGO Y AL PROCESO DE REHIDRATACIÓN CON LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA.	PROCESO DE REHIDRATACION	REHIDRATACION POR EL MEDIO AMBIENTE	AGUA m3  TEMPERATU °C

ANEXO 3: CUADRO DE RESISTENCIA REQUERIDA A LOS 7, 14, 21 y 28 DIAS PARA COMPROBAR EL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PATRON CERTIFICADO POR LA UNIVERSIDAD SAN MARTIN DE PORRES, FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.

CONCRETO	RESISTENCIA A 7 DIAS							F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> ) - PROMEDIO	
	CODIGO	φ1	φ2	φ3	φPromedio	Area	Carga	7 dias	F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> )
Probetas Patron	P1	104.15	104.66	103.84	10.42	85.30	24882.00	291.69	289.99
	P2	105.01	104.04	105.11	10.47	86.13	24521.00	284.70	
	P3	105.03	104.47	103.29	10.43	85.38	25065.00	293.57	

CONCRETO	RESISTENCIA A 14 DIAS							F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> ) - PROMEDIO	
	CODIGO	φ1	φ2	φ3	φPromedio	Area	Carga KG	7 dias	F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> )
Probetas Patron	P1	104.66	105.20	104.28	10.47	86.12	25650.00	297.85	307.97
	P2	104.55	105.36	104.20	10.47	86.10	26800.00	311.26	
	P3	105.20	104.18	103.68	10.44	85.53	26925.00	314.81	

CONCRETO	RESISTENCIA A 21 DIAS							F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> ) - PROMEDIO	
	CODIGO	φ1	φ2	φ3	φPromedio	Area	Carga KG	7 dias	F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> )
Probetas Patron	P1	105.40	105.15	104.95	10.52	86.87	27514.00	316.74	321.34
	P2	104.35	105.09	105.12	10.49	86.35	27645.00	320.16	
	P3	103.15	104.05	103.98	10.37	84.50	27643.00	327.13	

CONCRETO	RESISTENCIA A 28 DIAS							F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> ) - PROMEDIO	
	CODIGO	φ1	φ2	φ3	φPromedio	Area	Carga KG	7 dias	F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> )
Probetas Patron	P1	105.56	104.25	104.35	10.47	86.13	28045.00	325.62	324.87
	P2	104.24	105.21	105.15	10.49	86.37	28151.00	325.93	
	P3	105.51	105.41	105.31	10.54	87.27	28192.00	323.05	



ANEXO 4: CUADRO DE RESISTENCIA REQUERIDA A LOS 7, 14, 21 y 28 DIAS PARA COMPROBAR EL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO CERTIFICADO POR LA UNIVERSIDAD SAN MARTIN DE PORRES, FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.

CONCRETO	RESISTENCIA A 7 DIAS							F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO
	CODIGO	φ1	φ2	φ3	φPromedio	Area	Carga	7 dias	F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> )
Probetas con fibra de polipropileno	P1	103.48	104.38	104.83	10.42	85.32	25963.00	304.28	303.74
	P2	103.70	104.93	104.16	10.43	85.38	25887.00	303.20	
	P3	104.12	105.08	104.95	10.47	86.12	26310.00	305.49	
	P1	104.37	102.52	105.63	10.42	85.23	26695.00	313.20	314.29
	P2	103.35	103.82	103.84	10.37	84.41	26621.00	315.38	
	P3	104.24	104.15	103.97	10.41	85.14	26500.00	311.23	

CONCRETO	RESISTENCIA A 14 DIAS							F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO
	CODIGO	φ1	φ2	φ3	φPromedio	Area	Carga KG	7 dias	F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> )
Probetas con fibra de polipropileno	P1	103.81	104.95	104.54	10.44	85.66	28283.00	330.19	333.87
	P2	106.49	106.23	101.78	10.48	86.32	28651.00	331.93	
	P3	104.63	105.81	103.78	10.47	86.16	28863.00	334.99	
	P4	104.36	105.56	104.18	10.47	86.10	29132.00	338.37	
	P1	103.87	104.34	104.91	10.44	85.56	28887.00	337.62	334.66
	P2	104.79	103.71	105.16	10.46	85.85	28142.00	327.79	
	P3	103.14	104.23	105.12	10.42	85.22	28397.00	333.24	
	P4	105.29	105.25	105.35	10.53	87.08	29605.00	339.97	

CONCRETO	RESISTENCIA A 21 DIAS							F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO
	CODIGO	φ1	φ2	φ3	φPromedio	Area	Carga KG	7 dias	F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> )
Probetas con fibra de polipropileno	P1	105.06	104.22	105.61	10.50	86.53	29768.00	344.02	347.06
	P2	103.54	105.81	105.60	10.50	86.56	29936.00	345.83	
	P3	103.38	105.41	105.05	10.46	85.95	29876.00	347.58	
	P4	104.71	105.59	103.57	10.46	85.97	30157.00	350.79	
	P1	103.46	105.23	105.15	10.46	85.95	29662.00	345.09	348.40
	P2	104.26	103.21	104.56	10.40	84.96	29853.00	351.36	
	P3	105.65	105.65	103.69	10.50	86.58	30052.00	347.08	
	P4	104.61	105.34	104.98	10.50	86.55	30299.00	350.07	

CONCRETO	RESISTENCIA A 28 DIAS							F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO
	CODIGO	φ1	φ2	φ3	φPromedio	Area	Carga KG	7 dias	F <sub>c</sub> (Kg/Cm <sup>2</sup> )
Probetas con fibra de polipropileno	P1	105.37	104.16	103.08	10.42	85.28	30784.00	360.97	353.70
	P2	105.20	104.97	105.53	10.52	86.98	30162.00	346.79	
	P3	106.27	102.81	103.98	10.44	85.53	30874.00	360.99	
	P4	104.58	105.66	104.35	10.49	86.36	29887.00	346.06	
	P1	104.89	104.51	104.26	10.46	85.85	30452.00	354.69	359.65
	P2	104.24	104.37	104.00	10.42	85.28	32743.00	383.94	
	P3	105.17	103.57	103.75	10.42	85.22	29800.00	349.70	
	P4	103.42	105.58	103.63	10.42	85.29	29875.00	350.27	



ANEXO 5: CUADRO DE TEMPERATURA DE LOS TESTIGOS LUEGO DE SER EXPUESTO AL FUEGO DIRECTO Y AL PROCESO DE REHIDRATACION

<b>EXPOSICION A FUEGO DIRECTO Y CON REHIDRATACION</b>									
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO</b>		<b>TEMPERATURA EN EL MOMENTO DE EXTRACCION</b>				<b>TEMPERATURA TOMADA LUEGO DE LA REHIDRATACION POR 25 MINUTOS</b>			
<b>TESTIGO</b>	<b>RESISTENCIA A COMPRESION</b>	<b>CARA SUPERIOR</b>	<b>MEDIO</b>	<b>CARA INFERIOR</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>CARA SUPERIOR</b>	<b>MEDIO</b>	<b>CARA INFERIOR</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>CONCRETO CONVENCIONAL</b>									
CPO-0.60	358.29	28	-	-	28	-	-	-	-
<b>CONCRETO CONVENCIONAL EXPUESTO A FUEGO</b>									
CPO2-2	243.37	370	-	-	370	-	-	-	-
CPO2-3	102.10	437	-	-	437	-	-	-	-
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO</b>									
PO	356.64	18	18	18	18	-	-	-	-
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO</b>									
1PC-2H-F	314.14	310	325	305	313	-	-	-	-
2PC-2H-F	316.17	301	335	308	315	-	-	-	-
3PC-2H-F	316.49	312	330	304	315	-	-	-	-
7PC-3H-F	254.93	390	388	395	391	-	-	-	-
8PC-3H-F	291.65	382	386	392	387	-	-	-	-
9PC-3H-F	287.16	394	385	392	390	-	-	-	-
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO Y CON REHIDRATACION</b>									
4PC-2H-FA	267.09	308	315	322	315	31	37	39	36
5PC-2H-FA	248.82	310	328	334	324	31	38	29	33
6PC-2H-FA	266.33	324	334	336	331	35	40	34	36
10PC-3H-FA	210.81	394	385	391	390	31	38	28	32
11PC-3H-FA	209.38	384	379	375	379	32	38	27	32
12PC-3H-FA	210.82	394	391	396	394	32	36	40	36

ANEXO 6: CUADRO DE RESISTENCIA A COMPRESION DE LOS TESTIGOS LUEGO DE SER EXPUESTO AL FUEGO DIRECTO Y AL PROCESO DE REHIDRATACION

<b>EXPOSICION A FUEGO DIRECTO Y CON REHIDRATACION</b>									
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO</b>		<b>TEMPERATURA EN EL MOMENTO DE EXTRACCION</b>				<b>TEMPERATURA TOMADA LUEGO DE LA REHIDRATACION POR 25 MINUTOS</b>			
<b>TESTIGO</b>	<b>RESISTENCIA A COMPRESION</b>	<b>CARA SUPERIOR</b>	<b>MEDIO</b>	<b>CARA INFERIOR</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>CARA SUPERIOR</b>	<b>MEDIO</b>	<b>CARA INFERIOR</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>CONCRETO CONVENCIONAL</b>									
CPO-0.60	358.29	28	-	-	28	-	-	-	-
<b>CONCRETO CONVENCIONAL EXPUESTO A FUEGO</b>									
CPO2-2	243.37	370	-	-	370	-	-	-	-
CPO2-3	102.10	437	-	-	437	-	-	-	-
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO</b>									
PO	356.64	18	18	18	18	-	-	-	-
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO</b>									
1PC-2H-F	314.14	310	325	305	313	-	-	-	-
2PC-2H-F	316.17	301	335	308	315	-	-	-	-
3PC-2H-F	316.49	312	330	304	315	-	-	-	-
7PC-3H-F	254.93	390	388	395	391	-	-	-	-
8PC-3H-F	291.65	382	386	392	387	-	-	-	-
9PC-3H-F	287.16	394	385	392	390	-	-	-	-
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO Y CON REHIDRATACION</b>									
4PC-2H-FA	267.09	308	315	322	315	31	37	39	36
5PC-2H-FA	248.82	310	328	334	324	31	38	29	33
6PC-2H-FA	266.33	324	334	336	331	35	40	34	36
10PC-3H-FA	210.81	394	385	391	390	31	38	28	32
11PC-3H-FA	209.38	384	379	375	379	32	38	27	32
12PC-3H-FA	210.82	394	391	396	394	32	36	40	36

ANEXO 7: CUADRO DE TEMPERATURA DE LOS TESTIGOS LUEGO DE SER EXPUESTO AL FUEGO DIRECTO Y AL PROCESO DE REHIDRATACION

<b>EXPOSICION AL FUEGO DIRECTO Y CON REHIDRATACION</b>									
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO</b>		<b>TEMPERATURA EN EL MOMENTO DE EXTRACCION</b>				<b>TEMPERATURA TOMADA LUEGO DE LA REHIDRATACION POR 25 MINUTOS</b>			
<b>TESTIGO</b>	<b>RESISTENCIA A TRACCION (T)</b>	<b>CARA SUPERIOR</b>	<b>MEDIO</b>	<b>CARA INFERIOR</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>CARA SUPERIOR</b>	<b>MEDIO</b>	<b>CARA INFERIOR</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>CONCRETO CONVENCIONAL</b>									
CPO-0.60	42.16	28	-	-	28	-	-	-	-
<b>CONCRETO CONVENCIONAL EXPUESTO A FUEGO</b>									
CPO2-2	24.60	341	-	-	341	-	-	-	-
CPO2-3	16.60	452	-	-	452	-	-	-	-
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO</b>									
PO	25.85	18	18	18	18				
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO</b>									
1PT-2H-F	22.88	313	332	318	321	-	-	-	-
2PT-2H-F	22.06	308	329	301	313	-	-	-	-
3PT-2H-F	23.83	321	337	345	334	-	-	-	-
7PT-3H-F	16.83	395	391	389	392	-	-	-	-
8PT-3H-F	17.85	379	385	390	385	-	-	-	-
9PT-3H-F	18.58	380	383	389	384	-	-	-	-
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO Y CON REHIDRATACION</b>									
4PT-2H-FA	17.27	332	328	320	327	28	32	26	29
5PT-2H-FA	14.48	335	321	318	325	26	31	39	32
6PT-2H-FA	16.24	340	335	338	338	33	35	39	36
10PT-3H-FA	11.27	392	389	395	392	36	43	37	39
11PT-3H-FA	13.92	387	384	390	387	37	43	33	38
12PT-3H-FA	13.57	385	382	392	386	34	41	34	36

ANEXO 8 : CUADRO DE RESISTENCIA A TRACCION DE LOS TESTIGOS LUEGO DE SER EXPUESTO AL FUEGO DIRECTO Y AL PROCESO DE REHIDRATAACION

**ENSAYO DE TRACCION**

CODIGO	φ1 (mm)	φ2 (mm)	φ3 (mm)	φPromedio (Cm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L Promedio	Carga KG	TRACCION	PROMEDIO T (Kg/Cm2)
<b>CONCRETO CONVENCIONAL</b>											
CPO-0.60	102.3	101.7	102	10.20	206	206	205	20.57	13891.6	42.16	42.16
<b>CONCRETO CONVENCIONAL EXPUESTO A FUEGO</b>											
CPO2-2	102	102.5	102.5	10.23	207	208	207	20.73	8200	24.60	24.60
CPO2-3	101.6	102.2	102	10.19	209	210	210	20.97	5573.08	16.60	16.60
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO</b>											
1PT	103.95	103.98	103.8	10.39	206	206	205	20.57	8704	25.93	25.85
2PT	104.65	104.25	104.5	10.45	204	206	207	20.57	8548	25.33	
3PT	104.56	104.68	104.12	10.45	205	206	205	20.53	8856	26.29	
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO</b>											
1PT-2H-F	104.96	104.35	104.12	10.45	206	208	207	20.70	7772	22.88	22.924
2PT-2H-F	104.41	105.9	102.55	10.43	207	208	207	20.73	7493	22.06	
3PT-2H-F	104.33	102.86	105.68	10.43	205	207	206	20.60	8042	23.83	
7PT-3H-F	106.15	103.24	105.88	10.51	205	208	206	20.63	5734	16.83	17.755
8PT-3H-F	103.98	104.02	103.66	10.39	205	204	206	20.50	5972	17.85	
9PT-3H-F	103.76	105.36	102.87	10.40	205	206	204	20.50	6222	18.58	
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO Y CON REHIDRATAACION</b>											
4PT-2H-FA	104.46	104.1	102.98	10.38	205	205	204	20.47	5765	17.27	15.996
5PT-2H-FA	105.73	103.48	103.07	10.41	209	207	209	20.83	4933	14.48	
6PT-2H-FA	104.76	104.88	104.31	10.47	205	205	205	20.50	5472	16.24	
10PT-3H-FA	105.01	104.06	104.38	10.45	207	206	205	20.60	3810	11.27	12.922
11PT-3H-FA	104.73	104.38	104.29	10.45	205	208	208	20.70	4730	13.92	
12PT-3H-FA	102.22	103.21	105.22	10.36	205	203	202	20.33	4489	13.57	

ANEXO 9: CUADRO DE TEMPERATURA DE LOS TESTIGOS LUEGO DE SER EXPUESTO AL FUEGO DIRECTO Y AL PROCESO DE REHIDRATACION

<b>EXPOSICION AL FUEGO DIRECTO Y CON REHIDRATACION</b>							
<b>TIPO DE CONCRETO</b>		<b>TEMPERATURA EN EL MOMENTO DE EXTRACCION</b>			<b>TEMPERATURA TOMADA LUEGO DE LA REHIDRATACION POR 25 MINUTOS</b>		
<b>TESTIGO</b>	<b>RESISTENCIA A A FLEXION (F)</b>	<b>CARA SUPERIOR</b>	<b>CARA INFERIOR</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>CARA SUPERIOR</b>	<b>CARA INFERIOR</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>CONCRETO CONVENCIONAL</b>							
V-SF	53.72	21	22	22	-	-	-
V-SF	54.64	21	22	22	-	-	-
V-SF	55.50	21	22	22	-	-	-
<b>CONCRETO CONVENCIONAL EXPUESTO A FUEGO</b>							
1V-SF-2H-F	26.05	376	378	377	-	-	-
2V-SF-2H-F	23.54	362	368	365	-	-	-
3V-SF-2H-F	24.88	357	351	354	-	-	-
4V-SF-3H-F	16.24	485	479	482	-	-	-
5V-SF-3H-F	15.78	470	475	473	-	-	-
6V-SF-3H-F	16.63	461	451	456	-	-	-
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO</b>							
V-CF	61.44	21	22	22	-	-	-
V-CF	58.07	22	22	22	-	-	-
V-CF	60.88	21	22	22	-	-	-
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO</b>							
1V-CF-2H-F	32.10	333	317	325	-	-	-
2V-CF-2H-F	29.97	337	334	336	-	-	-
3V-CF-2H-F	31.54	328	325	327	-	-	-
4V-CF-3H-F	26.21	428	432	430	-	-	-
5V-CF-3H-F	25.50	444	436	440	-	-	-
6V-CF-3H-F	24.53	404	410	407	-	-	-
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO Y CON REHIDRATACION</b>							
7V-CF-2H-FA	19.53	326	322	324	33	34	34
8V-CF-2H-FA	20.50	333	328	331	32	35	34
9V-CF-2H-FA	18.56	330	333	332	33	31	32
10V-CF-3H-FA	9.57	412	418	415	34	35	35
11V-CF-3H-FA	10.10	413	417	415	38	37	38
12V-CF-3H-FA	12.41	428	418	423	32	34	33

ANEXO 10 : CUADRO DE RESISTENCIA A COMPRESION DE LOS TESTIGOS LUEGO DE SER EXPUESTO AL FUEGO DIRECTO Y AL PROCESO DE REHIDRATAACION

ENSAYO DE FLEXION						
CODIGO	ANCHO (Cm)	ALTURA (Cm)	Distancia entre apoyos (Cm)	Carga KG	FLEXION	PROMEDIO F (Kg/Cm2)
<b>CONCRETO CONVENCIONAL</b>						
V-SF	15.2	15	30	6206	53.72	54.62
V-SF	15.4	15.3	30	6609	54.64	
V-SF	15.2	15.5	30	6625	55.50	
<b>CONCRETO CONVENCIONAL EXPUESTO A FUEGO</b>						
1V-SF-2H-F	16	15.5	30	3446	26.05	24.82
2V-SF-2H-F	15.8	15.6	30	3056	23.54	
3V-SF-2H-F	15.6	15.4	30	3108	24.88	
4V-SF-3H-F	15.2	15.6	30	1150	9.57	10.692
5V-SF-3H-F	15.5	15.3	30	1237	10.10	
6V-SF-3H-F	15.3	15.7	30	1520	12.4074441	
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO</b>						
V-CF	15.1	15.2	30	7098	61.44	60.13
V-CF	15.1	15.2	30	6708	58.07	
V-CF	15.2	15.1	30	7080	60.88	
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO</b>						
1V-CF-2H-F	15.3	15.1	30	3782	32.10	31.203
2V-CF-2H-F	15.2	15.2	30	3508	29.97	
3V-CF-2H-F	15.1	15.2	30	3644	31.54	
4V-CF-3H-F	15.2	15.4	30	3108	26.21	25.412
5V-CF-3H-F	15.5	15	30	3063	25.50	
6V-CF-3H-F	15.5	15.24	30	2994	24.53	
<b>CONCRETO REFORZADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO EXPUESTO A FUEGO Y CON REHIDRATAACION</b>						
7V-CF-2H-FA	15.4	15.6	30	2408	19.53	19.532
8V-CF-2H-FA	15.3	15.5	30	2480	20.50	
9V-CF-2H-FA	15.5	15.8	30	2349	18.56	
10V-CF-3H-FA	15.5	15.1	30	1964	16.24	16.22
11V-CF-3H-FA	15.6	15.7	30	2010	15.78	
12V-CF-3H-FA	15.2	15.6	30	1998	16.63	