



**FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

TESIS

**EFFECTOS DE LA ADICIÓN DE FIBRA DE
POLIPROPILENO EN LAS PROPIEDADES
PLÁSTICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO
HIDRÁULICO.**

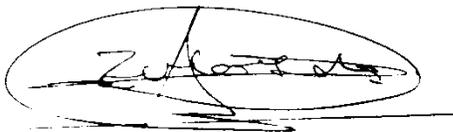
Para Optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

**AUTOR:
Bach. Armas Aguilar César Hugo.**

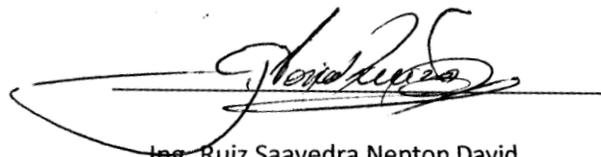
Pimentel, 2016.

EFFECTOS DE LA ADICIÓN DE FIBRA DE POLIPROPILENO EN LAS PROPIEDADES PLÁSTICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO.

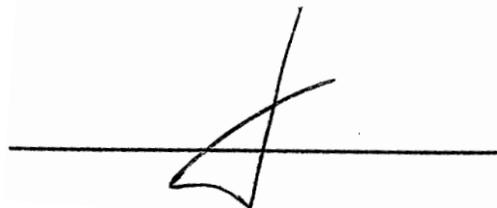
Aprobación de tesis



Ing. M.Sc. Zuloaga Cachay José Fortunato.
Asesor metodólogo



Ing. Ruiz Saavedra Nepton David.
Asesor especialista



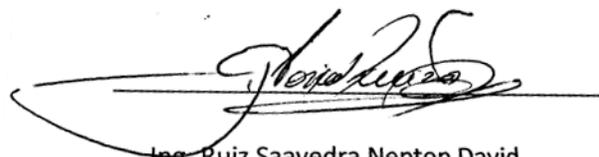
Ing. M.Sc. Coronado Zuloeta Omar.

Presidente del jurado de tesis



Ing. Marín Bardales Noé Humberto.

Secretario del jurado de tesis



Ing. Ruiz Saavedra Nepton David.

Asesor especialista

DEDICATORIA

A mi hija, Hazel Luciana.

Por ser mi fortaleza y quien me inspira a seguir obteniendo triunfos.

A mis padres, César y Pilar.

Por su gran amor y apoyo incondicional en mi formación ética y profesional.

A mis hermanos Ángel y Luis Miguel

Por su comprensión y compañerismo en la lucha del día a día por salir adelante y alcanzar nuestros objetivos.

A mis familiares y amigos

Por su aliento en los momentos difíciles de la vida y por la motivación brindada para seguir adelante.

César Armas.

AGRADECIMIENTO

A DIOS

Por darme la vida y por las fuerzas que me brinda para seguir desarrollándome como persona y profesional.

A la Universidad Señor de Sipán.

A su prestigiosa plana docente, técnicos de laboratorios y demás trabajadores, quienes, han contribuido significativamente en mi desarrollo profesional. En especial al director de escuela Ing. M.Sc. Omar Coronado Zuloeta, por su vocación de servicio a la comunidad estudiantil de Ingeniería Civil.

Al Ing. Nepton David Ruiz Saavedra.

Por transmitir su valiosa experiencia y su conocimiento especializado, en temas referentes al concreto, su asesoría fue indispensable para la culminación de la presente investigación.

A Chema

Por el apoyo brindado mediante la asesoría del personal técnico y la donación de fibra de polipropileno y aditivos. En especial a la Arq. Gabriella Escobar y Arq. Ivonne Muro.

INDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE	v
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE TABLAS.....	xii
INDICE DE ECUACIONES.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCION.....	xvii
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACION	
1.1. SITUACION PROBLEMÁTICA.....	20
1.1.1. A Nivel Internacional	20
1.1.2. A Nivel Nacional.....	21
1.1.3. A Nivel Local	22
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	22
1.3. DELIMITACION DE LA INVESTIGACION.....	23
1.4. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION.....	23
1.4.1. Técnica	23
1.4.2. Social	24
1.4.3. Medioambiental.....	24
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION.....	25
1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	26
1.6.1. Objetivo General	26
1.6.2. Objetivos Específicos.....	26
CAPITULO II: MARCO TEORICO	
2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO	28
2.1.1. A Nivel Internacional	28
2.1.2. A Nivel Nacional.....	35
2.2. ESTADO DEL ARTE	39

2.3.	BASE TEORICO CIENTIFICO	41
2.3.1.	Cambios volumétricos en el concreto	41
2.3.2.	Cambios volumétricos a edad temprana.....	43
2.3.2.1.	Contracción química.....	45
2.3.2.2.	Contracción autógena	46
2.3.2.3.	Hundimiento o asiento plástico.....	48
2.3.2.4.	Contracción plástica	50
2.3.2.5.	Hinchazón	51
2.3.2.6.	Expansión térmica temprana.....	52
2.3.3.	Cambios volumétricos del concreto endurecido	53
2.3.3.1.	Contracción por secado	53
2.3.4.	Cambios volumétricos por agentes químicos	56
2.3.4.1.	Carbonatación	56
2.3.4.2.	Ataque de sulfatos.....	56
2.3.5.	Materiales	57
2.3.5.1.	Cemento.....	57
2.3.5.2.	Agregados	59
2.3.5.3.	Agua	64
2.3.5.4.	Fibra de polipropileno.....	64
2.3.5.5.	Aditivo superplastificante.....	66
2.3.6.	Ensayos en estado plástico	67
2.3.6.1.	Asentamiento	67
2.3.6.2.	Peso unitario	68
2.3.6.3.	Contenido de aire	69
2.3.6.4.	Temperatura.....	70
2.3.6.5.	Potencial de fisuración	71
2.3.7.	Ensayos en estado mecánico	75
2.3.7.1.	Resistencia a la compresión.....	75
2.3.7.2.	Resistencia a la flexión.....	81

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACION	89
3.1.1. Tipo de Investigación	89
3.1.2. Diseño de Investigación	89
3.2. POBLACION Y MUESTRA.....	90
3.2.1. Población	90
3.2.2. Muestra.....	90
3.3. HIPOTESIS	91
3.3.1. Contraste de hipótesis resistencia a la compresión.	91
3.3.2. Contraste de hipótesis resistencia a la flexión.	91
3.4. VARIABLES	92
3.4.1. Variable Independiente	92
3.4.2. Variables Dependientes.....	92
3.4.2.1. Propiedades Plásticas.....	92
3.4.2.2. Propiedades Mecánicas	92
3.5. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	93
3.6. METODOS TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	96
3.6.1. METODO DE INVESTIGACION	96
3.6.2. TECNICA DE RECOLECCION DE DATOS.....	96
3.6.3. INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.....	96
3.7. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCION DE DATOS.....	98
3.8. ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS	100
3.9. PRINCIPIOS ETICOS	100
3.10. CRITERIOS DE RIGOR CIENTIFICO.....	101

CAPITULO IV: ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS	103
4.1.1. Análisis de los agregados	103
4.1.1.1. Análisis del agregado fino	103
4.1.1.2. Análisis del agregado grueso	109
4.1.1.3. Diseño de mezcla patrón o convencional	116

4.1.2.	Propiedades Plásticas del Concreto	117
4.1.2.1.	Asentamiento	117
4.1.2.2.	Contenido de aire	118
4.1.2.3.	Temperatura.....	119
4.1.2.4.	Peso unitario	120
4.1.2.5.	Potencial de fisuración	121
4.1.3.	Propiedades Mecánicas del Concreto	125
4.1.3.1.	Resistencia a la compresión.....	125
4.1.3.2.	Resistencia a la flexión.....	131
4.1.4.	Contrastación de hipótesis.....	132
4.1.4.1.	Contraste de hipótesis resistencia a la compresión.	132
4.1.4.2.	Contraste de hipótesis resistencia a la flexión.....	134
4.2.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	136
4.2.4.	Propiedades Plásticas del Concreto	136
4.2.4.2.	Asentamiento	136
4.2.4.3.	Contenido de aire	136
4.2.4.4.	Temperatura.....	137
4.2.4.5.	Peso unitario	137
4.2.4.6.	Potencial de fisuración	138
4.2.5.	Propiedades Mecánicas del Concreto	138
4.2.5.2.	Resistencia a la compresión.....	138
4.2.5.3.	Resistencia a la flexión.....	139
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
5.1.	CONCLUSIONES.....	141
5.2.	RECOMENDACIONES	142
REFERENCIAS		143
ANEXOS		147
Anexo N°01. Diseño de mezclas		148
Anexo N° 02. Ensayos de agregado fino y grueso		169
Anexo N°03. Información meteorológica del mes de Abril, SENAMHI.		175
Anexo N°04. Panel fotográfico		176

INDICE DE FIGURAS

Figura 01	Estimación de la población urbana y rural del mundo, 1970 a 2050.....	20
Figura 02	Consumo per cápita de cemento en el Perú, 2004 a 2015.....	21
Figura 03	Fisura y rotura de adherencia.....	42
Figura 04	Perdida de humedad superficial en distintas condiciones climáticas.	43
Figura 05	Relación entre la tasa de evaporación y la aparición de fisuras.....	45
Figura 06	Cambios de volumen por contracción química y retracción autógena de pasta fresca y endurecida.....	46
Figura 07	Relación entre contracción autógena y contracción química de la pasta de cemento en edades tempranas.....	47
Figura 08	Relación volumétrica entre revenimiento, agua de sangrado, contracción química y contracción autógena.....	48
Figura 09	Asiento plástico Δ	49
Figura 10	El primer día del concreto.....	51
Figura 11	Hinchazón en edad temprana en especímenes de concreto 4x4x15 pulg. Curados bajo agua.....	52
Figura 12	Temperatura del concreto y ambiente. (Muro de 0.40m de espesor). Contenido de cemento 250 kp/m ³	53
Figura 13	Temperatura del concreto y ambiente. (Muro de 0.40m de espesor). Contenido de cemento 400 kp/m ³	53
Figura 14	Movimientos de la humedad en el concreto.....	55
Figura 15	Contracción y agrietamiento.	56
Figura 16	Teoría de la máxima densidad.	61
Figura 17	Chema Fibra Ultrafina.....	65
Figura 18	Ensayo de Asentamiento. Medición del asentamiento.....	68
Figura 19	Ensayo de Peso Unitario.....	69
Figura 20	Ensayo de Contenido de aire.	70
Figura 21	Temperatura del concreto fresco.	71

Figura 22	Planta y Elevación de Molde de fisuración.	71
Figura 23	Elevación y detalles de las restricciones o elevadores del Molde de fisuración.	72
Figura 24	Moldes de fisuración.....	72
Figura 25	Losas de concreto en el túnel de viento.....	74
Figura 26	Equipo para medir ancho de fisuras.	74
Figura 27	Equipo para medir resistencia a la compresión.....	76
Figura 28	Moldes plásticos para probetas, dimensiones 4 x 8 Pulg.....	78
Figura 29	Espécimen $f'c$ 280 kg/cm ² con adición de fibra de polipropileno en dosis de 400 gr/m ³ 4 x 8 Pulg.....	79
Figura 30	Patrones de tipo de fractura.....	80
Figura 31	Moldes metálicos para vigas, dimensiones 6 x 6 x 21 Pulg.	82
Figura 32	Viga $f'c$ 280 kg/cm ² patrón, dimensiones 6 x 6 x 21 Pulg.	83
Figura 33	Características de las dimensiones de la viga y su posición antes del ensayo.....	84
Figura 34	Vigas $f'c$ 280 kg/cm ² con adiciones de fibra, dimensiones 6 x 6 x 21 Pulg.	86
Figura 35	Cámara húmeda de curado de especímenes.....	86
Figura 36	Ensayo de resistencia a la flexión, viga simplemente apoyada cargada en los tercios de la luz.....	87
Figura 37	Diseño de la investigación.....	89
Figura 38	Diagrama Lógico De Procesos.....	99
Figura 39	Plan de análisis de datos.....	100
Figura 40	Curva granulométrica del agregado fino.....	104
Figura 41	Tamices, N°3/8" hasta N°100 y depósito de fondo. Granulometría del agregado fino.....	104
Figura 42	Peso de la muestra húmeda. Cálculo del peso unitario del agregado fino.....	106
Figura 43	Muestra saturada superficialmente seca.	108
Figura 44	Muestra de agregado fino secada en horno.	109
Figura 45	Curva granulométrica del agregado grueso.....	111

Figura 46	Tamices, N°2 " hasta N°4 y depósito de fondo. Granulometría del agregado grueso.....	111
Figura 47	Peso de la muestra húmeda. Cálculo del peso unitario del agregado grueso.....	113
Figura 48	Equipo para ensayo de peso específico de agregado grueso....	114
Figura 49	Muestra de agregado grueso secada en horno.	115
Figura 50	Asentamiento por diseño de mezcla y adición de fibra.	117
Figura 51	Contenido de aire por diseño de mezcla y adición de fibra.....	119
Figura 52	Peso Unitario por diseño de mezcla y adición de fibra.....	120
Figura 53	Muestras f'c 280 kg/cm ² con adiciones de fibra de polipropileno de 0 y 200 gr/m ³ en túnel de viento. Medición del Potencial de fisuración.	123
Figura 54	Medición del ancho de fisuras en muestras f'c 280 kg/cm ² con adiciones de fibra de polipropileno de 0 y 200 gr/m ³ en túnel de viento. Medición del Potencial de fisuración.	123
Figura 55	Equipo de medición de ancho de fisuras, fisurómetro y comparador de fisuras.....	124
Figura 56	Vista de la medición del ancho de fisura a través del fisurómetro	124
Figura 57	Resistencia a la compresión para el diseño de mezcla teórico 175 kg/cm ² con adición de 200, 300 y 400 gr/m ³ de concreto, a edades de 7, 14 y 28 días. Curado con agua.....	126
Figura 58	Resistencia a la compresión para el diseño de mezcla teórico 210 kg/cm ² con adición de 200, 300 y 400 gr/m ³ de concreto, a edades de 7, 14 y 28 días. Curado con agua.....	127
Figura 59	Resistencia a la compresión para el diseño de mezcla teórico 280 kg/cm ² con adición de 200, 300 y 400 gr/m ³ de concreto, a edades de 7, 14 y 28 días. Curado con agua.....	128
Figura 60	Resumen Resistencia a la compresión para el diseño 280 kg/cm ² con adición de 200, 300 y 400 gr/m ³ de concreto, a edades de 7, 14 y 28 días. Curado Agua y con Membranil Reforzado.....	129
Figura 61	Modo de fractura de las probetas, f'c 280 kg/cm ² con adición fibra en 0, 200, 300 y 400 gr/m ³ de concreto.....	130
Figura 62	Modo de fractura de una probeta patrón f'c 280 kg/cm ² . Fractura frágil Tipo 1.....	130

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cemento Portland adicionados para construcción en general	58
Tabla 2 Cemento Portland con características especiales	58
Tabla 3 Límites de sustancias perjudiciales en los agregados	60
Tabla 4 Límites recomendables para granulometría del agregado fino	61
Tabla 5 Requisitos granulométricos del agregado grueso	62
Tabla 6 Porcentaje permisible de elementos en el agua de mezcla	64
Tabla 7 Propiedades físicas de Chema Fibra Ultrafina.	65
Tabla 8 Tipos de aditivos según sus funciones.	66
Tabla 9 Especificación Normalizada de aditivos	67
Tabla 10 Máximo valor del diámetro del bloque y de la probeta de ensayo	75
Tabla 11 Tolerancias para la el tiempo de fractura de probetas	77
Tabla 12 Factor de corrección para relaciones $L/D \leq 1.75$	78
Tabla 13 Operacionalización de variable independiente en estado plástico	93
Tabla 14 Operacionalización de variables dependientes en estado plástico	94
Tabla 15 Operacionalización de variables dependientes en estado endurecido	95
Tabla 16 Granulometría del agregado fino	103
Tabla 17 Peso Unitario del agregado fino	105
Tabla 18 Datos para el cálculo de peso específico y absorción del agregado fino..	107
Tabla 19 Resultados del peso específico y absorción del agregado fino	107
Tabla 20 Contenido de humedad del agregado fino	108
Tabla 21 Granulometría del agregado grueso	110
Tabla 22 Peso Unitario del agregado grueso	112
Tabla 23 Datos para el cálculo de peso específico y absorción del agregado grueso	113
Tabla 24 Resultados del peso específico y absorción del agregado grueso	114
Tabla 25 Contenido de humedad del agregado grueso	115
Tabla 26 Resumen del análisis de agregados	116
Tabla 27 Resumen del Diseño de Mezcla Patrón según resistencia	116

Tabla 28 Relación de reducción de fisuración CCR según resistencia a la compresión del concreto y dosis de fibra de polipropileno, ensayos en túnel de viento	121
Tabla 29 Relación de reducción de fisuración CCR según resistencia a la compresión del concreto y dosis de fibra de polipropileno. Ensayos en condiciones ambientales reales.....	122
Tabla 30 Parámetros atmosféricos promedios del Mes de Abril en Chiclayo. Estación C.O. Reque.....	122
Tabla 31 Porcentaje de incremento en la Resistencia a la compresión del concreto $f'c$ 175 kg/cm ² con adiciones de 200, 300 y 400 gr/m ³ de concreto a edad de 28 días. Curado con agua.....	125
Tabla 32 Porcentaje de incremento en la Resistencia a la compresión de concreto $f'c$ 210 kg/cm ² con adiciones de 200, 300 y 400 gr/m ³ de concreto a edad de 28 días. Curado con agua	126
Tabla 33 Porcentaje de incremento en la Resistencia a la compresión de concreto $f'c$ 280 kg/cm ² con adiciones de 200, 300 y 400 gr/m ³ de concreto a edad de 28 días. Curado con agua.....	127
Tabla 34 Resumen Resistencia a la compresión de concreto $f'c$ 280 kg/cm ² con adiciones de 200, 300 y 400 gr/m ³ de concreto, a edades de 7, 14 y 28 días. Curado con Agua y Membranil Reforzado.	129
Tabla 35 Módulo de rotura a flexión según resistencia y dosis de adición de fibra de polipropileno.	131
Tabla 36 Contraste de hipótesis resistencia a la compresión 175 kg/cm ²	132
Tabla 37 Contraste de hipótesis resistencia a la compresión 210 kg/cm ²	133
Tabla 38 Contraste de hipótesis resistencia a la compresión 280 kg/cm ²	133
Tabla 39 Contraste de hipótesis resistencia a la flexión 175 kg/cm ²	134
Tabla 40 Contraste de hipótesis resistencia a la flexión 210 kg/cm ²	135
Tabla 41 Contraste de hipótesis resistencia a la flexión 280 kg/cm ²	135

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	Tasa de evaporación	44
Ecuación 2	Peso unitario del concreto.....	69
Ecuación 3	Rendimiento del concreto.....	69
Ecuación 4	Relación de reducción de fisuración CCR.....	73
Ecuación 5	Densidad del espécimen.....	78
Ecuación 6	Relación de carga del espécimen a flexión.....	82
Ecuación 7	Módulo rotura a flexión dentro del tercio medio.....	84
Ecuación 8	Módulo rotura a flexión fuera del tercio medio.....	85
Ecuación 9	Módulo de fineza del agregado fino.....	103
Ecuación 10	Peso unitario suelto húmedo del agregado fino.....	105
Ecuación 11	Peso unitario suelto seco del agregado fino.....	106
Ecuación 12	Peso unitario compactado del agregado fino.....	106
Ecuación 13	Peso específico del agregado fino.....	107
Ecuación 14	Porcentaje de absorción del agregado fino.....	107
Ecuación 15	Contenido de humedad del agregado fino.....	108
Ecuación 16	Módulo de fineza del agregado grueso.....	110
Ecuación 17	Peso unitario suelto húmedo del agregado grueso.....	112
Ecuación 18	Peso unitario suelto seco del agregado grueso.....	112
Ecuación 19	Peso unitario compactado del agregado grueso.....	112
Ecuación 20	Peso específico del agregado grueso.....	114
Ecuación 21	Porcentaje de absorción del agregado grueso.....	114
Ecuación 22	Contenido de humedad del agregado grueso.....	115

RESUMEN

Se estudió experimentalmente los efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas (asentamiento, contenido de aire, peso unitario, temperatura y potencial de fisuración) y mecánicas (compresión y flexión) del concreto hidráulico en la región Lambayeque, mediante adiciones de fibra en dosis de 0, 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto de resistencias a la compresión de 175, 210 y 280 kg/cm². Se utilizó agregado fino y grueso (piedra de ½ pulg.) de las canteras La Victoria y Tres Tomas, respectivamente, Cemento Portland Tipo MS, fibra de Polipropileno, aditivo curador y aditivo superplastificante.

Se concluye que una dosis de fibra de polipropileno de 400 gr/m³ de concreto logra reducir el potencial de fisuración en condiciones reales hasta en un 90%, demostrándose que esta dosis causa los siguientes efectos respecto a sus propiedades plásticas, reduce el asentamiento hasta en un 50%, el contenido de aire lo disminuyo hasta en un 25%, no altera la temperatura y el peso unitario del concreto fresco. Mientras que respecto a sus propiedades mecánicas de resistencia a la compresión y flexión las incrementa aproximadamente en un 3% y 14% a la edad de 28 días, respectivamente.

Palabras claves:

Fibra de polipropileno, propiedades plásticas del concreto, propiedades mecánicas de concreto, cambios volumétricos, fisuración.

ABSTRACT

Experimentally it investigated the effects of adding polypropylene fiber in the plastic (slump, air content, unit weight, temperature and potential cracking) and mechanical (compressive and flexural) properties hydraulic concrete in the Lambayeque region through additions fiber in doses of 0, 200, 300 and 400 gr/m³ concrete compressive strengths of 175, 210 and 280 kg/cm². It used fine and coarse aggregate (stone ½ in.) From the quarries La Victoria and Tres Tomas respectively Portland Cement Type MS, polypropylene fiber additive curator and superplasticizer additive.

It is concluded that a dose of polypropylene fiber of 400 gr/m³ concrete does reduce the potential for cracking under real conditions up to 90%, showing that this dose causes the following effects regarding their plastic properties, reduces settling up in 50% air content decreased as much as 25%, does not alter the temperature and the unit weight of fresh concrete. While regarding their mechanical properties of compressive strength and bending the increase by about 3% and 14% at the age of 28 days, respectively.

Keywords:

Polypropylene fiber, plastic properties of concrete, mechanical properties of concrete, volume changes, cracking.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación estudia los efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico, con la finalidad de reducir el potencial de fisuración en estructuras de concreto, por contracción, plástica, autógena, térmica, carbonatación, etc. Ante el crecimiento demográfico acelerado de la población mundial, de 5.700 millones a 7.200 millones de personas, durante el periodo de 1994 al 2014, respectivamente (ASOCEM, Indicadores Internacionales, 2013), la industria de la construcción requiere mayor explotación de recursos naturales, ante esto resulta oportuno y adecuado desarrollar tecnologías que nos permita la optimización del concreto, mejorar sus propiedades plásticas y mecánicas, estas propiedades se pueden modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, y/o ante la aplicación de ciertas fibras sintéticas durante su dosificación.

El concreto fibroreforzado, en especial el concreto con adiciones de fibra de polipropileno ha ganado en los últimos años popularidad en el uso del concreto, principalmente para mejorar la resistencia al agrietamiento por contracción plástica, asiento plástico y contracción térmica (Ottazzi, G. 2013). Sin embargo estudios realizados muestran resultados contradictorios respecto a los efectos de las fibras de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto, dejando un vacío por estudiar.

Se aplicó el método analítico, mediante la observación y el análisis realizado a los datos obtenidos en la experimentación en laboratorio permitió reconocer los efectos que produce la fibra de polipropileno en las propiedades plásticas (asentamiento, peso unitario, temperatura, contenido de aire y fisuración) y mecánicas (compresión y flexión) del concreto hidráulico. Ante este contexto se estudió experimentalmente los efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y

mecánicas del concreto hidráulico, utilizándose agregado fino y grueso (piedra de ½ pulg.) de las canteras La Victoria y Tres Tomas, respectivamente. Cemento Portland Tipo MS (MH)(R), Pacasmayo Antisalitre Fortimax3, por ser uno de los cementos más comerciales en la región Lambayeque, fibra de Polipropileno Chema Fibra Ultrafina, aditivo curador Membranil Reforzado y aditivo superplastificante Chemament 440.

Se planteó las siguientes hipótesis, para resistencias a la compresión y a la flexión; hipótesis nula, no es significativo el aporte de la adición de la fibra de polipropileno e hipótesis alterna, si es significativo el aporte de la adición de la fibra de polipropileno.

La investigación consta de la siguiente estructura, Capítulo I Problemática de la Investigación, que consta de, situación problemática, formulación del problema, delimitación de la investigación, justificación e importancia, limitación de la investigación y objetivos. Capítulo II Marco Teórico, que consta de, antecedentes, estado del arte y base teórico científico. Capítulo III Marco Metodológico, que consta de, tipo y diseño de la investigación, población y muestra, hipótesis, variables, operacionalización de variables, métodos técnicas e instrumentos de recolección de datos, procedimientos de recolección de datos, análisis e interpretación de datos, principios éticos y criterios de rigor científico. Capítulo IV Análisis e Interpretación de Resultados, que consta de, resultados y discusión de los resultados. Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones, que consta de conclusiones y recomendaciones. Referencias y Anexos.

CAPITULO I:
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. SITUACION PROBLEMÁTICA

1.1.1. A Nivel Internacional

ASOCEM, Indicadores Internacionales. (2013).

En el mundo crece el temor por la escasez y contaminación de los recursos naturales, con el crecimiento demográfico, la demanda de uso múltiple se acelera, requiriendo, un aumento y mejora de la industria de la construcción, minera, metalúrgica, siderúrgica, energética, pesquera, agrícola, etc., lo que conlleva que en el sector de la construcción se genere una explotación masiva de canteras y recursos naturales para la obtención de materias primas para el concreto.

La población en el mundo ha crecido de 5.700 millones a 7.200 millones de personas, durante el periodo de 1994 al 2014, respectivamente. Las tres cuartas partes de ese crecimiento han tenido lugar en Asia y África. Las proyecciones de las Naciones Unidas sugieren que la población del mundo seguirá creciendo y a mediados de siglo podría alcanzar la cifra de 9.600 millones.

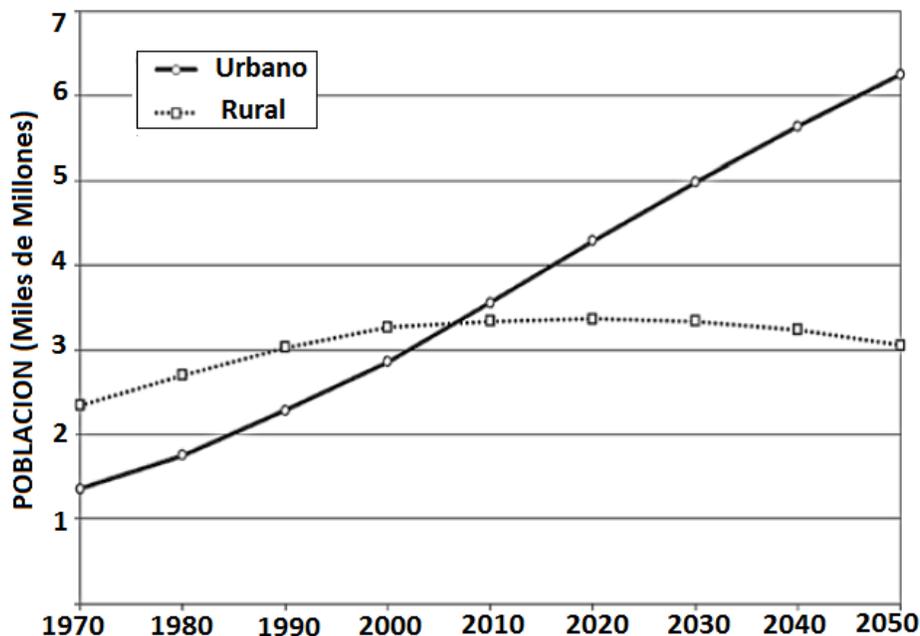


Figura 1: Estimación de la población urbana y rural del mundo, 1970 a 2050.

Fuente: La situación demográfica en el mundo. Naciones Unidas, 2014.

Ante este panorama el concreto resulta ser uno de los materiales más usados en la construcción a nivel internacional, nacional y local. Teniendo diversas aplicaciones; edificaciones, presas, centrales hidroeléctricas, carreteras, etc.

En Europa, el principal consumidor de cemento es Italia. Se consumieron 20.1 MM Tm en este país, en 2013, le siguen Francia, Polonia, Alemania y España con consumos mayores a 10 MM Tm.

En América, Estados Unidos es el mayor consumidor de cemento, se estima que en 2013 se hayan consumido 87 MM Tm. A este le sigue Brasil con un consumo de 71 MM Tm en 2013. Perú se encuentra en el 5to lugar, después de México y Argentina. El consumo peruano alcanzó 11 MM Tm en 2013.

1.1.2. A Nivel Nacional

ASOCEM, Indicadores Económicos. (2014).

En el Perú el consumo per cápita de cemento en 2014 fue 368 kg por persona, mientras que en el 2015 el consumo per cápita fue de a 375 kg por persona.

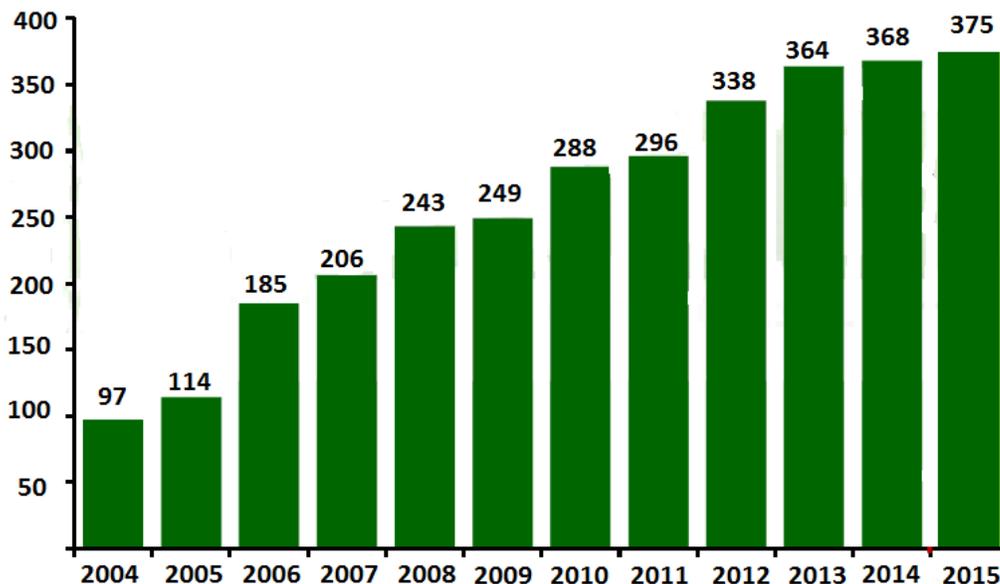


Figura 2: Consumo per cápita de cemento en el Perú, 2004 a 2015.

Fuente: ASOCEM, 2014.

1.1.3. A Nivel Local

INEI (2012).

En el año 2012, el departamento de Lambayeque consumió el 5.12% del consumo nacional de cemento (9 515 989 toneladas), ubicándose en el quinto lugar después de Lima (36.49%), Arequipa (7.16%), La Libertad (6.27%) y Junín (5.48%).

La industria del concreto está cada vez más acostumbrada a adoptar nuevas tecnologías en materias de aditivos y adiciones con fines de mejorar la calidad del concreto y brindarle características acordes con los diseños estructurales cada vez más exigentes.

Resulta oportuno y adecuado desarrollar tecnologías que nos permita la optimización del concreto, mejorar sus propiedades plásticas y mecánicas, estas propiedades se pueden modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, y/o ante la aplicación de ciertas fibras sintéticas durante su dosificación.

En los últimos años las fibras sintéticas, en particular la fibra de polipropileno han ganado popularidad en el uso del concreto, principalmente para mejorar la resistencia al agrietamiento por contracción plástica, asiento plástico y contracción térmica. Sin embargo estudios realizados muestran resultados contradictorios respecto a los efectos de las fibras de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto, dejando un vacío por estudiar.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué efectos tiene la adición de fibra de polipropileno (Chema Fibra Ultrafina) en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico en la Región Lambayeque?

1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó en Región Lambayeque, utilizándose cemento MS Pacasmayo Antisalitre Fortimax3 por ser uno de los cementos más usados en la región, respecto a la fibra de polipropileno se utilizó Chema Fibra Ultrafina, de los agregados se utilizó piedra de media pulgada y arena, procedente de las canteras Tres Tomas y La Victoria, respectivamente.

Los ensayos se ejecutaron en el laboratorio de ensayos de materiales de la Universidad Señor de Sipán, la presente investigación se desarrolló durante el periodo comprendido entre los meses de febrero a mayo del presente año.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Técnica

En el Perú para contrarrestar la fisuración del concreto en estado plástico por fenómenos de retracción (plástica, autógena, térmica, carbonatación, etc.) se viene utilizando fibra de polipropileno como refuerzo secundario, por tal motivo se analizó el comportamiento del concreto con incorporación de fibras de polipropileno, evaluándose el efecto que produce la adición de la fibra sobre las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico en condiciones locales, elaborado con materiales de mayor frecuencia de uso en la región como son, cemento MS Pacasmayo Antisalitre Fortimax3, fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina, piedra de media pulgada y arena, procedente de las canteras Tres Tomas y La Victoria, respectivamente.

El conocimiento de la relación entre la fibra y las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico permite mejorar la calidad del concreto optimizando la dosificación racional de sus elementos y brindar características acordes con las exigencias de los diseños estructurales de la actualidad, permitiendo conocer la influencia de la fibra sobre las propiedades del concreto hidráulico, reduciendo el potencial de fisuración del concreto en estado plástico, reduciendo el riesgo de

corrosión de la armadura, el riesgo estético y otras patologías ligadas al fenómeno de fisuración.

1.4.2. Social

Brindar un aporte a la industria de la construcción, mediante la aplicación de tecnologías novedosas aplicadas al diseño del concreto hidráulico con adiciones de fibra de polipropileno. Al conocer la influencia de la fibra sobre las propiedades del concreto hidráulico, se puede evitar los fenómenos de fisuración y agrietamiento evitando alterar negativamente las demás propiedades del concreto, lo que generaría beneficios económicos tanto al propietario como al constructor, reduciendo además el riesgo psicológico del usuario que muchas veces relaciona la existencia de fisuras con un supuesto riesgo de hundimiento o colapso de su estructura.

1.4.3. Medioambiental

El clima de la Región Lambayeque se clasifica como Desértico Subtropical Árido, influenciado directamente por la corriente fría marina de Humboldt, que actúa como regulador de fenómenos meteorológicos. Respecto a la temperatura, en verano la temperatura mínima y máxima alcanzan valores de 20° C y 35° C respectivamente, mientras que en invierno la temperatura mínima y máxima fluctúa entre 15° C y 24° C respectivamente. Las precipitaciones totales medias anuales en el departamento fluctúan entre 16 y 1050 mm, se distinguen marcadamente tres zonas altimétricas, la primera zona (Cayaltí, Reque, Sipán, Lambayeque, Ferreñafe, Jayanca y Motupe) en que las lluvias pueden alcanzar hasta los 100 litros/m² por año, la segunda zona (Oyotún, Chongoyape, Puchaca y Olmos) en que las precipitaciones pueden oscilar entre los 100 y 300 litros/m² por año, y la tercera zona (Incahuasi y Cueva Blanca) en que las precipitaciones fluctúan de los 300 a 1050 litros/m² por año. La humedad relativa media anual oscila entre el 60% (zona andina y alto cordillerana) al 90%

(zona al noroeste del departamento de Lambayeque adjunta a Piura, colindante al océano Pacífico).

Ante este panorama en la Región Lambayeque y en otras regiones con climas similares, es frecuente observar fisuras en elementos estructurales de concreto hidráulico como pavimentos, losas, muros, etc., este fenómeno de fisuramiento está asociada a los cambios volumétricos que experimenta el concreto a lo largo del tiempo, siendo los principales cambios volumétricos que experimenta el concreto los debidos a la retracción (plástica, autógena, térmica, carbonatación, etc.) y al Creep o flujo plástico, cabe resaltar que este último es un fenómeno irreversible que ocurre únicamente cuando el elemento está sometido a cargas.

Conocer los efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico permitirá reducir la explotación masiva de los materiales utilizados en la construcción, optimizando la dosificación de los materiales utilizados en la obtención del concreto, mejorando las propiedades de este, tal que se refleje en la calidad de la obra.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Siendo la medición del potencial de fisuración por contracción plástica imprescindible para la presente investigación se diseñó el ensayo siguiendo recomendaciones de la norma ASTM C1579 – 06 Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete. Se ejecutaron ensayos de fisuración en condiciones reales para corroborar los resultados, y obtener una dosis de fibra que logre inhibir el fisuramiento por retracción en el concreto hidráulico utilizado en la Región Lambayeque.

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Objetivo General

Determinar los efectos de la adición de fibra de polipropileno (Chema Fibra Ultrafina) en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico en la Región Lambayeque.

1.6.2. Objetivos Específicos

- A.** Realizar diseños de mezclas convencionales $f'c$ 175, 210 y 280 kg/cm², que serán patrón de comparación con las mezclas que tengan adición de fibra de polipropileno con proporciones en peso de 200, 300, y 400 gr por m³ de concreto.
- B.** Analizar los efectos de la adición de fibra de polipropileno sobre las propiedades plásticas del concreto hidráulico (consistencia, contenido de aire atrapado, temperatura, peso unitario y potencial de fisuración).
- C.** Analizar los efectos de la adición de fibra de polipropileno sobre las propiedades mecánicas del concreto hidráulico (compresión y flexión).
- D.** Determinar el contenido óptimo de fibra de polipropileno en el concreto tomándose en cuenta la inhibición de las fisuras causadas por la retracción y los efectos que esta causa sobre las propiedades del concreto. Para ello se diseñó el ensayo siguiendo recomendaciones de la norma ASTM C1579 – 12 Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete.

CAPITULO II:
MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO

2.1.1. A Nivel Internacional

Kolli Ramujee. (2013), en su investigación “Strength properties of polypropylene fiber reinforced concrete.” Publicado en la India en “International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology”, estudió el efecto de la adición de fibras de polipropileno sobre la resistencia del concreto. Se utilizó agregado grueso granito angular de peso específico es 2.70 gr/cm^3 , densidad a granel de 1450 kg/m^3 , agregado fino con peso específico de 2.6 gr/cm^3 , y densidad aparente de 1680 kg/m^3 . El cemento gravedad específica de 3.02 gr/cm^3 , con tiempos de fraguado inicial y final 50 y 170 minutos, respectivamente. Las fibras utilizadas fueron monofilamentos de polipropileno finas con longitud de fibra de 12 mm. Los parámetros de diseño fueron, resistencia a la compresión del concreto estándar a los 28 días de 54.0 MPa, relación agua cemento 0.50. Se realizaron ensayos con diferentes dosis de fibra, que varían de 0, 0.5, 1, 1.5 y 2,0%. Concluye, para dosis mayores a 1.5% de fibra existe una disminución del asentamiento, respecto a la resistencia a la compresión afirma que para dosis de 0.5, 1 y 1.5% de fibra se incrementa la resistencia a la compresión a los 28 días en 40.9, 44.12 y 45.24 MPa, respectivamente, mientras que para una dosis de 2% de fibra la resistencia a la compresión disminuye a 40.5 MPa. La resistencia a la tracción aumenta para dosis de 0.5, 1 y 1.5% en 3.22, 3.4 y 3.52 MPa, respectivamente, mientras que para la dosis de 2% la resistencia a la tracción disminuyó a 2.90 MPa.

Pey-Shiuan Song, Chi-jen Tu. (2014), en su investigación “Effect of Different Types of Polypropylene Fibers on the Properties of Mortar” Publicado en la República de China en National Chung Hsing University. En este trabajo se investiga los efectos de la adición de cuatro tipos de fibras de polipropileno al mortero, fibrilada (P1), fibras cortadas (P2), monofilamentos (P3), fibras cortadas y con terminal (P4). Se utilizó arena con un módulo de fineza de 2.87. Los parámetros de diseño, proporción en

peso 1:2.75 de cemento y arena, una relación agua-cemento de 0.55. La dosis de fibra fue 0.6 y 0.9 kg/m³, en fracciones de volumen 0.07% y 0.1%, respectivamente. De los resultados se concluye que todos los tipos de fibra aumentan resistencia a la compresión. La adición de 0.6 kg/m³ de P1, P2, P3 y P4 aumentó la resistencia a la compresión en un 5.3, 7.8, 2.3, y 10.2%, respectivamente. La adición de 0.9 kg/m³ de P1, P2, P3, y P4 aumentaron en 6.7%, 8.3%, 2.7% y 10.3%, respectivamente. Las fibras P4 producir el mayor aumento de la resistencia a la compresión. Las fibras P4 tienen el mayor módulo elástico con 4.2 GPa y una resistencia a la tracción 550 MPa. La adición de 0.6 kg/m³ de P1, P2, P3 y P4 aumentó de la resistencia a la tracción en un 5.3%, 6.1%, 3.4% y 8.5%. La adición de 0.9/m³ de fibra aumentó la resistencia a la tracción en un 5.7%, 6.2%, 3.7% y 8.6%, respectivamente. Se puede ver que la adición de cualquier tipo de fibra reducirá significativamente la incidencia de grietas por contracción plástica. Las fibras P1, P2, P3, P4 fibras redujo la incidencia de grietas de 83.2%, 85.2%, 78.8% y 89.7%, respectivamente. Las fibras P4 tiene una longitud indeterminada de 10 mm a 25 mm; las fibras largas pueden detener a la propagación grietas macro y mejorar sustancialmente la tenacidad, mientras que las fibras cortas reducen las micro grietas. En consecuencia, todos los tipos de fibras pueden efectivamente reducir las grietas por contracción plástica y lograr un control de aproximadamente el 80% de las grietas en el mortero.

Mohamed, R. (2006), en su investigación "Effect of polypropylene fibers on the mechanical properties of normal concrete" Publicado en Egipto en El - Minia University. El objetivo de la investigación fue determinar el mecánico propiedades tales como la resistencia a la compresión máxima, módulo de elasticidad, la ductilidad, módulo de ruptura y la porcentaje de absorción. Las fibras de polipropileno se añadieron en dosis de 0.25, 0.5, 1.0 y 1.5% en volumen. La mezcla tuvo una relación agua cemento de 0.45, se utilizó fibra de polipropileno de 2 mm de espesor y 15 mm de longitud, con una densidad de 0.91 gr/cm³. Cemento portland ordinario con gravedad 3.15 gr/cm³. De los resultados se concluye, la resistencia a la compresión

se incrementa hasta una dosis de 0.5%, para 1 y 1.5% se reduce, siendo los valores a los 28 días 245, 285, 290, 270 y 225 kg/cm² para dosis de 0, 0.25, 0.5, 1 y 1.5%, respectivamente. La resistencia a la flexión se incrementó hasta la dosis de 0.25%, para 0.5, 1 y 1.5% se reduce, siendo los valores a los 28 días 44.12, 57.38, 55.4, 50.3 y 48.9, kg/cm² para dosis de 0, 0.25, 0.5, 1 y 1.5%, respectivamente. El módulo de elasticidad a los 28 días disminuye al incrementar la dosis de fibra, teniendo valores de 180.05, 156.4, 148.6, 135.9 y 116.4 para dosis de 0, 0.25, 0.5, 1 y 1.5%, respectivamente. El porcentaje de absorción se incrementa en las últimas 3 dosis, siendo 0.932, 0.842, 1.05, 1.15 y 1.21 para dosis de 0, 0.25, 0.5, 1 y 1.5%, respectivamente. La dosis óptima de fibra es 0.5% en volumen del concreto.

Milind, V. (2015), en su investigación "Performance of Polypropylene Fibre Reinforced Concrete." Publicado en la India en "*IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*", estudió el efecto de la adición de fibras de polipropileno sobre la resistencia del concreto. Se utilizó como agregados, arena de río como agregado y como agregado grueso piedra angular de un tamaño de 20 mm, los agregados estuvieron libres de polvo antes utilizado en el concreto. El cemento utilizado fue cemento Portland puzolana (PPC) con una densidad relativa de 3.11 gr/cm³, con un tiempo de fraguado inicial y final de 69 y 195 min, respectivamente. Las fibras utilizadas fueron monofilamentos de polipropileno finas con longitud de fibra de 6.20 mm. El objetivo principal de la investigación fue estudiar el efecto de la mezcla de fibras de polipropileno mediante la variación de dosis en 0%, 0.5%, 1%, 1.5% y 2%, en mezclas de resistencias de diseño de 30 y 40 MPa., encontrando el contenido óptimo de la fibra de polipropileno. La mitad de las probetas de concreto se dejaron expuestas al entorno sin curar y la mitad restante se curaron en un tanque de curado. Concluye, realizadas las pruebas en el concreto para diferentes condiciones de curado, curado en tanque húmedo y curados en condición irregular, para la condición irregular inicialmente tiene más fuerza de compresión que el de la condición de curado en tanque húmedo pero a medida que transcurre el tiempo que

pierde su fuerza y no llega a una resistencia satisfactoria como la condición de curado. Por lo tanto, para una mejor resistencia concluye que el curado es un parámetro esencial. Las fibras de polipropileno (PPF) reducen la contracción temprana edad y la pérdida de humedad de la mezcla de hormigón, incluso cuando se utilizan fracciones de bajo volumen de PPF. Se concluyó que el volumen con mayor porcentaje de fibra añadido en el concreto disminuye el asentamiento, las tasas de dosificación de volumen por encima de 1.0% mostró que el concreto fue significativamente más rígida y difícil de compactar, sin embargo, también reduce el sangrado y la segregación en la mezcla de concreto. El porcentaje óptimo de fibra encontrado de la investigación es el de 0.5%, dosis que incrementa significativamente la resistencia a la tracción y flexión.

Saeid Kakooei. (2012), en su investigación “The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures” Publicado en Malasia en la revista científica “*Construction and Building Materials*”, estudió el efecto de la adición de fibras de polipropileno sobre las propiedades de resistencia a la compresión, la permeabilidad y la resistividad eléctrica del concreto. Se adicionó fibra de polipropileno en dosis de 0, 0.5, 1.5 y 2 kg/m³, se utilizó como parámetro de diseño una relación agua cemento de 0.48. Concluye que la permeabilidad a los 30 días se reduce significativamente en 0.082, 0.061, 0.007 y 0.007, (/10¹⁶ m²) para concreto con adiciones de 0, 0.5, 1.5 y 2 kg/m³, respectivamente. Según los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión, la resistencia del concreto aumentará proporcionalmente con el aumento de relaciones de volumen de fibras de polipropileno, la valores más altos de resistencia se observaron en las proporciones de volumen de 1.5 y 2 kg/m³. La resistividad eléctrica para dosis de 1 y 1.5 kg/m³ tuvo los valores más altos en comparación con otras dosis. Tiene un efecto directo en la reducción de la corrosión barras de refuerzo. En general, las muestras con contenido de fibras de 1,5 kg/m³ mostraron resultados óptimos en comparación con otras muestras en este estudio.

Dávila, M. (2010), en su tesis “Efectos de la adición de fibra de polipropileno sobre las propiedades plásticas y mecánicas del concreto” para optar el grado de Maestro en Ingeniería presentado a la Universidad Nacional Autónoma de México, estudió el efecto de la adición de fibra de polipropileno sobre las propiedades del concreto, mediante la fabricación de mezclas de concreto con dos tamaños de agregado grueso, $\frac{3}{4}$ ” y $\frac{3}{8}$ ”, en cada caso se fabricaron cuatro mezclas incorporando 0, 1, 3 y 5 kg/m³ de fibra de polipropileno tipo monofilamento no fibrilada. Los parámetros de diseño fueron el revenimiento de 10 cm y una resistencia a la compresión de 300 kg/cm² a los 28 días. Concluye respecto a las propiedades plásticas que, la adición de fibra de polipropileno al concreto genera en el revenimiento una disminución conforme se aumenta el contenido de fibra, la mezcla con fibra en 5kg/m³ se tuvo que emplear un superplastificante, mientras que el peso unitario y el contenido de aire no muestran cambios significativos, finalmente en el ensayo de contracción plástica obtuvo que al aumentar el contenido de fibra el índice de grieta disminuye. Respecto a las propiedades mecánicas, se obtuvo que la resistencia a la compresión disminuye a medida que se aumenta el contenido de fibra, la disminución de la resistencia para las mezclas con agregado de $\frac{3}{4}$ ” es del 5% para una dosis de 1 kg/m³ y aumenta a 9% para la dosis de 3 kg/m³, para las mezclas con agregado de $\frac{3}{8}$ ” se observa una disminución de 5% para una dosis de 5 kg/m³. Mientras que en el ensayo de flexión se obtuvo que para la mezcla con agregado de $\frac{3}{4}$ ” el mayor incremento se obtiene para la dosis de 5 kg/m³, siendo el 11% del $f'c$ a los 28 días, para la mezcla con agregado de $\frac{3}{8}$ ” se obtiene que la resistencia por flexión es el 14 % del $f'c$ a los 28 días.

López, J. (2015), en su tesis “Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: influencia del tipo y consumo de fibra adicionado” para optar el grado de Maestro en Ingeniería presentado a la Universidad Nacional Autónoma de México, estudió el efecto de la adición de fibras, de acero y de polipropileno, sobre las propiedades del concreto, mediante la

fabricación de mezclas de concreto con agregado grueso de origen calizo de 3/8” en total se fabricaron ocho mezclas, de las cuales cuatro fueron con fibra de polipropileno incorporando 2.3, 4.6, 7.0 y 9.3 kg/m³. Los parámetros para el diseño de mezclas fueron el revenimiento de 15 cm, un porcentaje de volumen absoluto para los agregados de 52% para la grava y de 48% para la arena, y una relación de agua/cemento de 0.5 para el concreto sin fibra, en todos los casos se utilizó un aditivo superplastificante para mantener el revenimiento en el rango deseado. Concluye respecto a las propiedades plásticas del concreto reforzado con macrofibras de polipropileno que, la trabajabilidad del concreto se reduce de forma proporcional al consumo de fibras, tanto de acero como de polipropileno, sin embargo, la trabajabilidad es menor cuando se adicionan fibras cortas de acero. En cuanto al peso volumétrico no existe variación al incrementar la dosis, mientras que el contenido de aire atrapado experimenta una reducción proporcional al consumo de fibra. Respecto al ensayo de potencial de fisuración la macrofibra de polipropileno es más eficiente para el control de grietas por contracción plástica. Respecto a las propiedades mecánicas, las macrofibras de polipropileno brindan un incremento pequeño en la resistencia a las edades de 28 y 90 días, con respecto al concreto sin fibras. La resistencia a tensión se incrementa proporcionalmente al consumo de fibra; de la misma forma, el porcentaje que representa la resistencia a tensión con respecto a la de compresión aumenta con el consumo de fibra. Para porcentajes de fibras de hasta 0.51% existe un mejor desempeño de las macrofibras de polipropileno; para porcentajes mayores, el desempeño del concreto con fibras de acero tiende a ser más eficiente.

Manzano, J. (2014), En su tesis “Evaluación del Efecto en la Contracción del Concreto con Fibras Estructurales de Polipropileno” para optar el título profesional de Ingeniero Civil presentado a la Pontificia Universidad Javeriana, estudió el comportamiento de los concretos adicionados con fibras y como estos pueden ser usados con objeto de evitar fenómenos nocivos que disminuyen la durabilidad de los elementos elaborados en concreto, explica también cuáles son los fenómenos que

relacionados a la contracción del concreto pueden ser mitigados mediante el uso de fibras dentro de la mezcla. Los parámetros de diseño fueron, asentamiento de 22.50 cm, relación agua cemento de 0.58, contenido de aire de 2% y una resistencia a la compresión de 210 kg/cm², los agregados tuvieron la proporción de 44, 31 y 25% de arena, grava gruesa y grava fina respectivamente. Para determinar el efecto de las fibras estructurales de polipropileno en la contracción del concreto, se realizaron 5 tipos de mezclas de la siguiente forma, concreto Convencional (CONV), concreto con nylon incorporado (N), concreto con 3.2 Kg/m³ fibras de polipropileno, concreto con 2.8 Kg/m³ fibras de polipropileno, concreto con 2.4 Kg/m³ fibras de polipropileno y concreto con 1.8 Kg/m³ fibras de polipropileno. Concluye que, mezclas con cuantías de fibras de polipropileno iguales y entre 2.4Kg/m³ – 2.8Kg/m³, son altamente eficientes en la mitigación de las fisuras por contracción plástica, reducen al 80% el área afectada por fisuras producidas por la contracción plástica y su resultado final será mejor en comparación con un concreto elaborado con refuerzo de malla electro soldada. El ancho promedio de la fisura se reduce en más del 95% cuando la adición de fibras de polipropileno tiene una cuantía de 3.2Kg/m³, estas fisuras no son fácilmente visibles y pueden tomarse en el aspecto estético como aceptables. Respecto a las propiedades mecánicas, las fibras de polipropileno no evidencian tener algún efecto benéfico en el comportamiento mecánico de la mezcla en cuanto a la compresión se refiere mientras que su resistencia a la flexión permite que el material siga resistiendo carga luego de su fisuración.

López, J. (2014), en su investigación “Propiedades mecánicas del concreto modificado a base de fibras de nylon y polipropileno para su uso en elementos estructurales”, tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad de San Carlos, en Guatemala. En este trabajo de investigación, se realizaron 5 diseños prácticos de mezcla para una resistencia de 210 kg/cm², se utilizó la proporción 1: 2,32: 2,97, y una relación agua cemento de 0.57, Slump de diseño de 3 a 4 pulgadas, los ensayos realizados a los especímenes fue a 3, 7 y 28

días, se adicionaron fibras sintéticas, las cuales fueron nylon y polipropileno, se estudió el efecto que tiene la incorporación de fibras cortas en las propiedades de concreto en estado fresco y endurecido, se utilizó 2 porcentajes de adición (100% y 60% equivalente a 18 y 10.8 gr respectivamente) de fibra para verificar si las propiedades mecánicas se mejoran con la adición, la comparación se realizó con una mezcla tradicional que no tenga ninguna adición. Las propiedades a estudiadas, fueron resistencia a compresión, y flexión. De los resultados, se concluye, del asentamiento, para la mezcla patrón 7.5 cm de revenimiento y 9.5 cm para la mezclas con fibra de polipropileno al 100% y 60%. La temperatura del concreto fresco, Mezcla patrón 21,11 °C, Mezcla con 100 % de fibra de polipropileno 21,6 °C, Mezcla con 60 % de fibra de polipropileno 21,67 °C. Del peso unitario del concreto, Mezcla patrón: 2158.58 g/m³, Mezcla con 100 % de fibra de polipropileno: 2170 g/m³, Mezcla con 60 % de fibra de polipropileno: 2193 g/m³. Del contenido de aire del concreto, Mezcla patrón: 3%, Mezcla con 100 % de fibra de polipropileno 3,5%, Mezcla con 60 % de fibra de polipropileno: 1,3%. Del ensayo de resistencia a compresión a los 28 días, Mezcla patrón 17.60 MPa, Mezcla con 100% de fibra de polipropileno 19.50 MPa, Mezcla con 60% de fibra 19.70 MPa. La adición de fibra de nylon tuvo mejor resultado, ya que fue la que más aumento la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días. La resistencia a la compresión se comprobó que aumenta más cuando se le agrega el 60 por ciento de fibra, ya sea de nylon o polipropileno. De la flexión a los 28 días un módulo de ruptura para, Mezcla patrón 36.66 kg/cm², Mezcla con 100% de fibra de polipropileno 37.33 kg/cm², Mezcla con 60% de fibra 37.67 kg/cm².

2.1.2. A Nivel Nacional

Rojas, H. (2009), en su investigación “Concreto reforzado con fibra natural de origen animal (Plumas de aves)”, tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Ricardo Palma. La investigación tuvo por objetivo desarrollar un concreto

estándar $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ adicionado con plumas de aves como reemplazo de fibras sintéticas de Polipropileno que reduzca la fisuración en losas, comparó estos resultados con los obtenidos con la adición de fibra de Polipropileno fibermesh. De los resultados concluye, que el asentamiento del concreto disminuye aproximadamente $\frac{1}{2}$ ", $1 \frac{1}{4}$ ", $1 \frac{3}{4}$ " y $4 \frac{1}{2}$ " con 300, 500, 900 y 1200 g/m³ de fibra de polipropileno, esta pérdida de trabajabilidad se debe a que las fibras forman una red interna y como consecuencia el concreto pierde trabajabilidad. El Peso unitario para cada mezcla evaluada sufre una disminución (aligeramiento) a medida que se va incrementando la dosificación de fibra en la mezcla. Esto se debe principalmente a que la fibra atrapa más aire. El contenido de aire aumenta ligeramente a medida que la dosificación de fibra va aumentando debido a que la fibra forma una red interna atrapando más aire. El aporte de la fibra de polipropileno a la resistencia a la compresión no ha sido significativo, mientras que en el caso de la fibra natural de origen animal (pluma de aves) se puede ver que esta provoca una disminución en la resistencia a la compresión, esto se puede deber quizás al incremento del aire atrapado. La resistencia a la flexión se ve incrementada ligeramente tanto para el concreto reforzado con fibra de polipropileno como con fibra natural. El potencial de fisuración nos indica que la fibra sintética logra inhibir las fisuras en 84, 88 y 96 % para dosis de 300, 500 y 900 gr/m³ respectivamente. Podemos notar que para lograr inhibir las fisuras en 75% con respecto al patrón solo se necesitó incrementar en el costo por metro cubico de concreto en 2.5%. Este resultado es alentador ya que las condiciones ambientales aplicadas a este ensayo no siempre serán reales y por lo tanto con esta misma mezcla se podría inhibir en su totalidad las fisuras por contracción plástica a un bajo costo.

García, P. (2007), en su investigación "Verificación de la dosificación de fibras sintéticas para neutralizar fisuras causadas por contracción plástica en el concreto", tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Ricardo Palma. El objetivo de la investigación fue determinar el desempeño de las fibras

sintéticas de polipropileno (Fibermesh) para contrarrestar las fisuras de contracción plástica añadiendo un aditivo tipo D (Poliheed 770R) al concreto. El diseño de mezcla fue realizada con cemento portland tipo I "sol", para diferentes relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70; un concreto patrón con aditivo tipo D en dosificación 0.33% del peso del cemento, y fibra Fibermesh que se incorpora en diferentes dosificaciones como 600, 700, 800 y 900 gr/m³. De los resultados se concluye, existe una disminución mínima del peso unitario al agregar fibras siendo la más baja con 600 gr/m³, existe una ligera recuperación cuando se añade 900 gr/m³. El contenido de aire aumenta con la incorporación de fibra y la relación agua cemento, estos valores se encuentran entre el 2.40% y el 2.65%. Del asentamiento se tiene que para los concreto patrones son mayores, siendo 5", 5 ¾", 5 ½", para relaciones agua cemento de 0.60, 0.65 y 0.70 respectivamente, mientras que menores valores se obtuvieron cuando se agregó a la mezcla 900 gr/m³ teniéndose valores que van de 3" a 4" de Slump. Del control de fisuración, se llegó a reducir hasta un 50% usando solo aditivo tipo D con respecto al concreto patrón sin aditivo, habiéndose neutralizado en su totalidad cuando se agregó 800 gr/m³ para las relaciones agua cemento de 0.70, 0.65 y 900 gr/m³ para la relación 0.60. De la resistencia a la compresión, el concreto patrón con aditivo respecto al concreto patrón sin aditivo presentó un incremento de resistencia a la compresión en los 7 primeros días entre el 30% al 50%, a los 14 días presento un incremento del 20% al 40% y a los 28 días un incremento alrededor 10% al 30%. Observándose además que existe una disminución de la resistencia del concreto al añadirle fibra, teniendo como valor para la relación agua cemento una pérdida de resistencia de hasta un 6%, para la relación 0.65 una caída de hasta 7% y para relación 0.70 disminuyó la resistencia hasta un 12%, siendo estos valores a la edad de 28 días. De la resistencia a la tracción por compresión diametral, disminuye cuando se aumenta la relación agua cemento, mientras que en las muestras con fibra se apreció un incremento hasta del 20%. De la resistencia a la flexión, se observa que a mayor contenido de fibra disminuye el módulo de rotura pero se recupera la resistencia para 800 y 900 gr/m³, obteniendo una disminución de resistencia hasta de 13%, 11% y 12% para las relaciones agua cemento de 0.60, 0.65 y 0.70 respectivamente. El módulo de elasticidad se incrementa ligeramente con

600 gr/m³ pero luego desciende hasta los menores valores con 800 gr/m³ para luego volver a subir ligeramente para el patrón de 900 gr/m³.

Vidad, J. (2006), en su investigación “Análisis del comportamiento del concreto con incorporación de fibras de polipropileno.”, tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola en la Universidad Nacional Agraria La Molina. La fibra empleada en la investigación es la fibra de polipropileno Fibratex, cuyo objetivo fue hacer un estudio entre el concreto normal y el concreto con incorporación de fibras de polipropileno en distintas dosificaciones para evaluar las resistencias mecánicas de comprensión, tracción y la resistencia al impacto con fines de aplicación a obras hidráulicas, canales, pozas de disipación, rápidas, losas, reservorios elevados, etc. De los resultados se concluye que, de la prueba de resistencia al impacto, tenemos que el contenido óptimo de fibra es de 1300 g/m³. Al incorporar fibra al concreto la resistencia al impacto aumenta. Teniendo que para el concreto f'c 280 kg/cm² se tienen incrementos de 34%, 52% y 77% para los contenidos de fibra de 700, 1000 y 1300 g/m³ respectivamente. Del análisis estadístico de resistencia a la tracción por comprensión diametral se observó que para el concreto 280 kg/cm² tenemos que con el contenido de fibra de 1300 g/m³ se obtiene un incremento de 11.65%, sin embargo trabajando con las medidas se observa que se ha obtenido una tendencia en todos los concretos que indican que la cantidad de fibra de 1000 g/m³, es una cantidad óptima que mejora esta resistencia. Del análisis estadístico de resistencia a la comprensión se ha observado una gran dispersión de datos por lo que concluimos que la fibra no produce efectos sobre la resistencia a la comprensión. La consistencia del concreto se ve afectada por la incorporación de fibras de polipropileno, disminuyendo a medida que se incrementa la cantidad de ésta en el concreto, es decir la consistencia tiene una relación inversamente proporcional al contenido de fibra, por ejemplo f'c 210 sin fibra disminuye la consistencia a 2”.

Tello, A. (2008), en su investigación “Uso del aditivo superplastificante Rheobuild 1000 y la fibra de polipropileno fibermesh 300 en edificios con muros de ductilidad limitada aplicada al conjunto habitacional Lomas caminos del Inca”, tesis para optar

el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Ricardo Palma. Se realizaron los ensayos en el laboratorio de materiales de la Universidad Ricardo Palma, siguiendo las normas ASTM y NTP. De los resultados se concluye, las fibras reducen la trabajabilidad del concreto fresco. El concreto sin fibras no presenta restricción pudiendo pasar los límites indicados. Los ensayos de resistencia a la compresión muestran que las resistencias de concretos con fibra de polipropileno a edades de 7, 21 y 28 días son ligeramente mayores que los obtenidos para esas mismas edades de ensayo en el concreto sin fibra. Teniendo una variación de 3.82% y 2.68% para los ensayos a los 7 y 28 días respectivamente. Con respecto al potencial de fisuración se observó que en la losa de concreto simple las fisuras sumaron en total de 19. Siendo el ancho máximo de 0.40 mm y la mínima de 0.02 mm con un promedio de 0.17 mm. El número de fisuras con ancho mayor a 0.17 mm sumaron 14, mientras que el ancho menor a 0.17 mm sumaron 5. Siendo la máxima longitud de fisura de 29 cm y la mínima de 5.50 cm. En el concreto con fibras se contabilizaron 21 fisuras. El ancho máximo de 0.19 mm y la mínima fue de 0.02 mm, con un promedio de 0.08. El número de fisuras con ancho mayor a 0.08 mm sumaron 6, mientras que con un ancho menor a 0.08 mm sumaron 15. La longitud máxima de fisura fue de 28 cm y la mínima de 3cm.

2.2. ESTADO DEL ARTE

Stewart, D. (2004), investigador de University of Maryland, tesis doctoral “Development of a performance based, integrated design / selection mixture methodology for fiber reinforced concrete airfield pavements”. Estudió el concreto reforzado con fibras para pavimentos de aeropuertos. Publicación de sus resultados en Estados Unidos el año 2004.

Cifuentes H., Alcalde M., Medina F. (2011), grupo de investigadores de la especialidad de Estructuras, de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.

Investigaron la “Influencia de la adición de fibras de polipropileno sobre el comportamiento en fractura de elementos de hormigón de ancho variable”.

Publicación de resultados en España el año 2011.

Medina F., Cifuentes H. (2007), investigadores de la especialidad de Estructuras, de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.

Investigaron el “Hormigón reforzado con fibras de polipropileno. Influencia de la ductilidad de la fibra sobre la fragilidad y el efecto tamaño”. Publicación de resultados en España el año 2011. Publicación de resultados en España el año 2007.

T. López-Lara, d. Rosales-Hurtado, J.B. Hernández-Zaragoza, j. Horta-Rangel (2012), grupo de investigadores de la División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, C. U. Cerro de las Campanas.

Investigaron las “Características mecánicas de un suelo fino reforzado con micro fibras de polipropileno”. Publicación de resultados en México el año 2012.

De Los Ángeles M., Gutiérrez A. (2011), en su trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil “Caracterización de fisuras en vigas de concreto reforzado con adición de fibras de polipropileno sometidas a flexión dinámica”. Publicación de resultados en Bogotá el año 2011.

Serrera A. (2013), en su tesis para acceder al título de Maestro en Ingeniería Industrial “Análisis de la adición de fibras de polipropileno en hormigones mediante métodos computacionales”. Publicación de resultados en España el año 2013.

San Bartolomé A., Ríos R. (2013), investigadores del Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú “Comportamiento a fuerza cortante de muros delgados de concreto reforzados en su zona central con barras de acero, fibra de polipropileno y con fibra de acero”. Publicación de resultados en Perú el año 2013.

2.3. BASE TEÓRICO CIENTÍFICO

2.3.1. Cambios volumétricos en el concreto

El concreto cambia ligeramente de volumen por varias razones y la comprensión de la naturaleza de estos cambios es útil para el planeamiento o el análisis de las obras de concreto. Si el concreto fuera libre de cualquier restricción para deformarse, los cambios normales de volumen tendrían pocas consecuencias, pero, como el concreto en servicio normalmente se restringe por los cimientos (cimentación, fundación), subrasantes, refuerzo o elementos conectados, se pueden desarrollar esfuerzos considerables. Esto es principalmente verdad para los esfuerzos de tensión (tracción). Las grietas (fisuras) se desarrollan porque el concreto es relativamente débil en tensión, pero bastante resistente a compresión. El control de las variables que afectan los cambios de volumen puede minimizar las tensiones elevadas y el agrietamiento. La anchura tolerable de las fisuras se debe considerar en el diseño estructural. El cambio de volumen se define meramente como un incremento o una disminución del volumen. Más comúnmente, el tema del cambio del volumen del concreto trata de la expansión lineal y la contracción ocasionada por ciclos de temperatura y humedad. Sin embargo, los efectos químicos como la contracción (retracción) por carbonatación, el ataque de sulfatos y la expansión perjudicial resultante de la reacción álcali-agregado también pueden causar cambios de volumen. También la fluencia es un cambio de volumen o una deformación causada por esfuerzos o cargas sostenidos. Igualmente importantes son los cambios elástico e inelástico en las dimensiones o formas, que ocurren instantáneamente bajo la aplicación del esfuerzo. El cambio del volumen del concreto empieza justo después del colado. (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. 2004).

Volumétricamente el concreto es un material inestable, experimentando a lo largo del tiempo cambios de volumen por causas físicas y químicas, lo que conlleva a ser una de las principales desventajas del concreto como material de construcción. Los principales cambios volumétricos que experimenta el concreto a lo largo del tiempo, son los debidos al Creep o Flujo Plástico, los debidos a la Retracción también

llamada Contracción de Fragua y los asociados con los cambios de temperatura. En un elemento real de concreto, ambos fenómenos estarán presentes simultáneamente, y la deformación total del elemento será función de las deformaciones elásticas y de las deformaciones en el tiempo ocasionadas tanto por el Creep como por la retracción. (Ottazzi, G. 2004).

En las estructuras de concreto las fisuras pueden indicar importantes problemas estructurales y deslucir el aspecto de las construcciones monolíticas. Existen numerosas causas de fisuración específicas. Las fisuras estructurales, debidas al alargamiento de las armaduras o a las excesivas tensiones de tracción o compresión producidas en el concreto por los esfuerzos derivados de la aplicación de las acciones exteriores o de las deformaciones impuestas. Las fisuras no estructurales, son las producidas en el concreto, bien durante su estado plástico o bien después de su endurecimiento, pero generadas por causas intrínsecas, es decir debidas al comportamiento de sus materiales constituyentes. Ambos tipos de fisuración son inherentes al concreto armado y no es posible evitarlos, sino simplemente reducirlos a límites razonables. Las fisuras no estructurales son producidas en estado plástico por el asiento plástico y contracción plástica, mientras que en estado endurecido, por la contracción térmica inicial, retracción hidráulica, fisuración en mapa. La fisuración del concreto está presente en las condiciones de servicio de un gran número de estructuras de concreto armado, la fisura supone un camino de acceso a la armadura de acero de los agentes agresivos, anhídrido carbónico y cloruros, que originan la oxidación, reduciendo la adherencia y anclaje de la estructura. (Calavera, J. 2005).

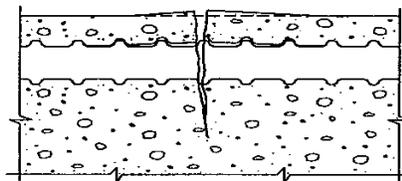


Figura 3: Fisura y rotura de adherencia

Fuente: Calavera, J. 2005.

2.3.2. Cambios volumétricos a edad temprana

Ocurre durante las primeras 24 horas, pueden influenciar los cambios de volumen y la formación de fisuras en el concreto endurecido, especialmente en concretos con baja relación agua-cemento. (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. 2004).

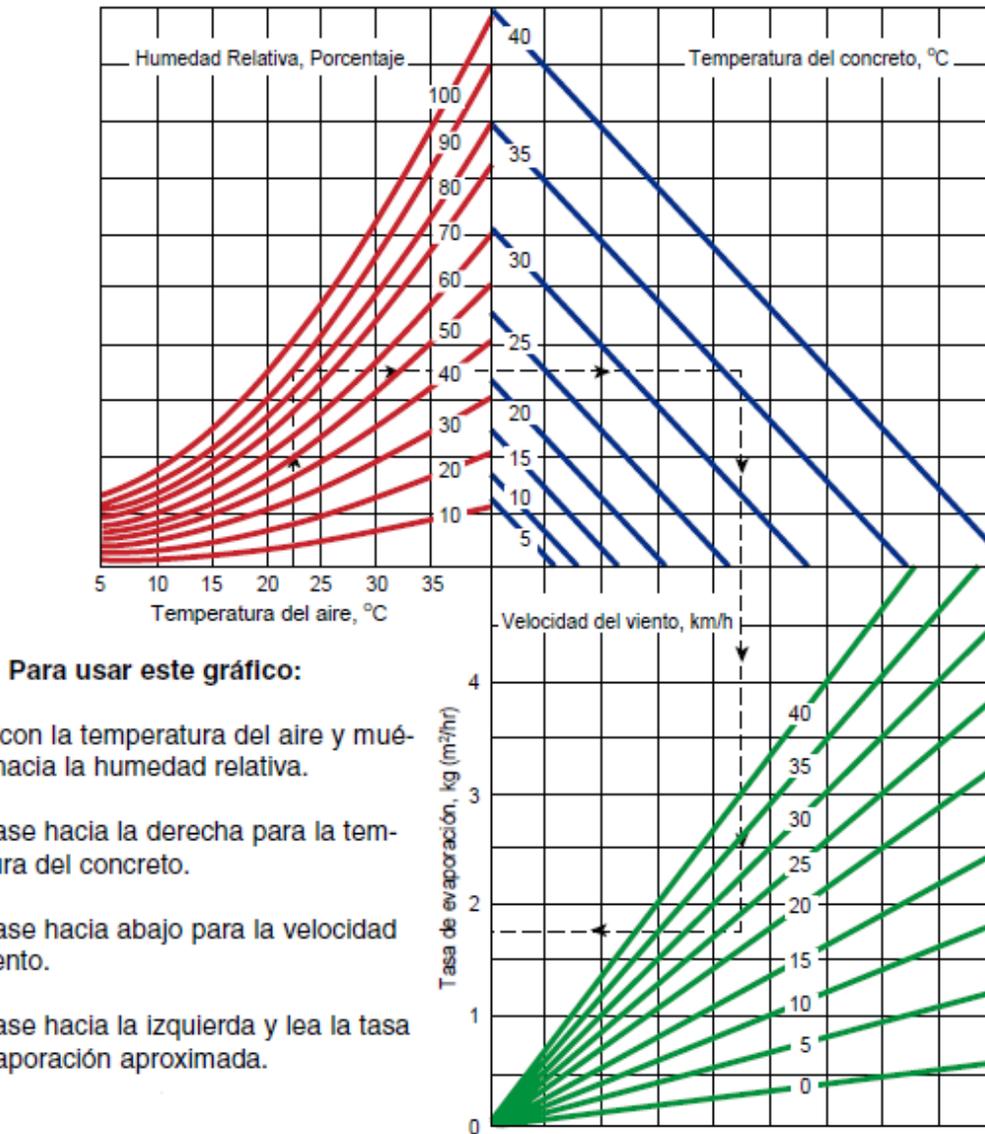


Figura 4: Pérdida de humedad superficial en distintas condiciones climáticas.

Fuente: Portland Cement Association, 2004.

Existe una relación entre la evaporación y la aparición de fisuras en la superficie del concreto, fundamentalmente debidas al asiento plástico en combinación con la contracción plástica. Una tasa de evaporación superior a 1.5 lt/m²/h supone un alto riesgo de fisuración, por lo tanto cuando la tasa de evaporación excede 1 kg/m²/h se deberán tomar medidas preventivas. (Calavera, J. 2005).

Dado que este método fue ampliamente aceptado durante varias décadas, existió la necesidad de revalidar el origen del mismo y generar una simplificación para realizar el cálculo de la tasa de evaporación en una mezcla de concreto de tal manera que no fuera necesario el uso del nomograma, sin excluir este último; en el año de 1995 mediante la obtención del origen de la fórmula de Menzel y las constantes que la rigen se obtuvieron expresiones matemáticas según fuera el sistema de unidades que usara que permiten conocer el valor de la evaporación para una mezcla de concreto y por consiguiente la aparición de fisuras por contracción plástica, para nuestro caso y con unidades del Sistema Internacional, dicha fórmula es la siguiente:

$$E = 0.131[eso - r(esa)][0.253 + 0.06V] \quad \dots(1)$$

Donde;

E = Tasa de Evaporación, (Kg/m²/h).

Tc = Temperatura de la Mezcla de Concreto (°C).

Ta = Temperatura del Aire (°C).

r = (Humedad Relativa)/100.

V = Velocidad del Viento (Km/h).

(Manzano, J. 2014).

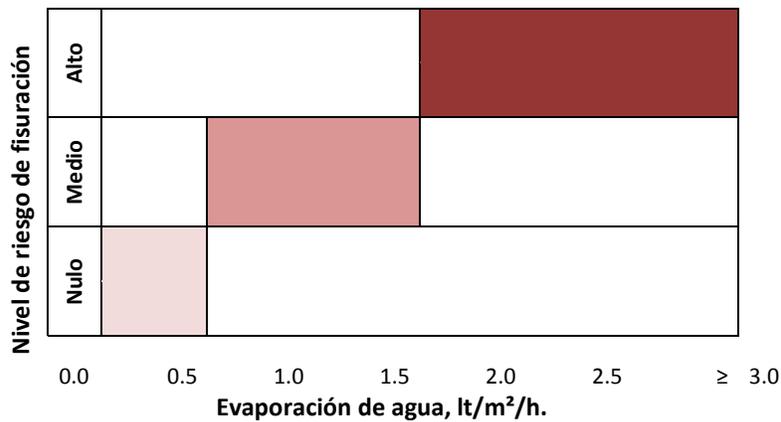


Figura 5: Relación entre la tasa de evaporación y la aparición de fisuras.

Fuente: Calavera, J. 2005.

2.3.2.1. Contracción química

La contracción química se refiere a la reducción en el volumen absoluto de sólidos y líquidos de la pasta, resultante de la hidratación del concreto. El volumen absoluto de los productos hidratados del cemento es menor que el del cemento y del agua antes de la hidratación. No están incluidas las burbujas de aire del mezclado. La retracción química continúa ocurre en una escala microscópica, mientras que el cemento se hidrata. Después del fraguado inicial, la pasta no se puede deformar tanto cuanto en el estado plástico. Por lo tanto, se compensan la hidratación y la contracción química adicionales con la formación de vacíos en la micro estructura. La mayor parte de este cambio de volumen es interno y no cambia considerablemente las dimensiones externas visibles del elemento de concreto. (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. 2004).

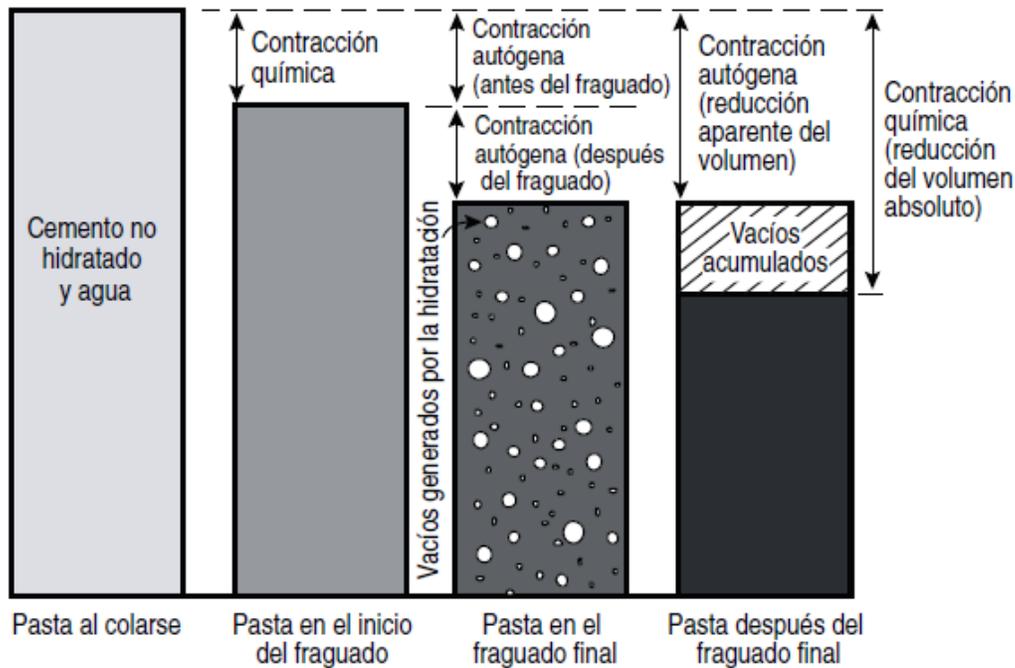


Figura 6: Cambios de volumen por contracción química y retracción autógena de pasta fresca y endurecida.

Fuente: Portland Cement Association, 2004.

2.3.2.2. Contracción autógena

La contracción autógena es la reducción macroscópica del volumen (cambio dimensional visible) de la pasta de cemento, mortero o concreto, causada por la hidratación del cemento. La reducción macroscópica del volumen de la contracción autógena es mucho menor que la reducción del volumen absoluto de la contracción química, debido a la rigidez de la estructura de la pasta endurecida. La contracción química es la fuerza que conduce a la retracción autógena. Algunos investigadores y organizaciones consideran que la contracción autógena empieza con el inicio del fraguado y otros la evalúan desde el momento de la colocación del concreto.

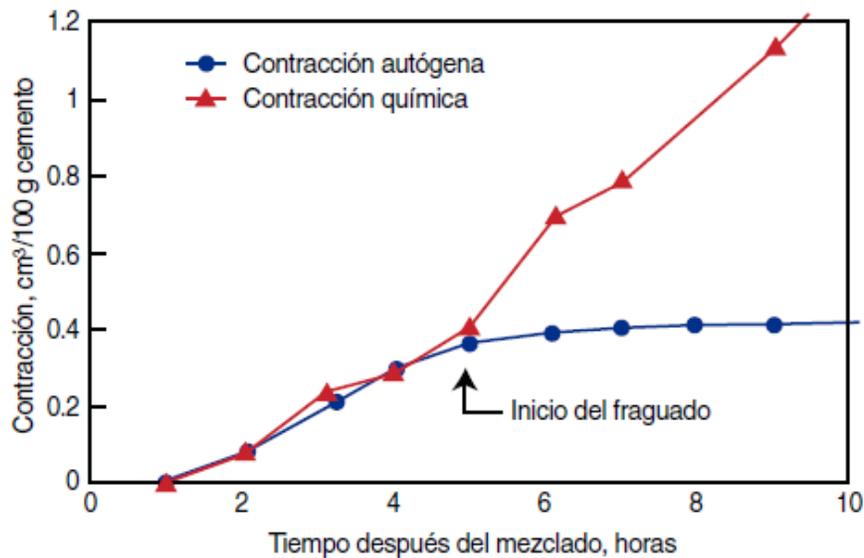


Figura 7: Relación entre contracción autógena y contracción química de la pasta de cemento en edades tempranas.

Fuente: Calavera, J. 2005.

Cuando hay agua externa disponible, la contracción autógena no puede ocurrir. Cuando el agua externa no está disponible, la hidratación del cemento consume el agua de los poros, resultando en auto desecación de la pasta y en una reducción uniforme del volumen. La contracción autógena aumenta con la disminución de la relación agua-cemento y con el aumento de la cantidad de pasta de cemento. El concreto normal tiene una contracción autógena insignificante, sin embargo, es muy prominente en concretos con relación agua cemento menor que 0.42. El concreto de alta resistencia y baja relación agua-cemento 0.30 puede experimentar una contracción autógena de 200 a 400 millonésimos. La retracción autógena puede ser la mitad de la contracción por secado en concretos con relación agua cemento de 0.30. El uso reciente de concretos de alto desempeño y baja relación agua cemento, en puentes y otras estructuras, ha reanudado el interés en la contracción autógena, a fin de controlar el desarrollo de fisuras. Los concretos altamente susceptibles a contracción autógena se deben curar con agua externa, por un periodo de, por lo menos, 7 días a fin de ayudar a controlar el desarrollo de grietas, también se puede reducir la contracción autógena con el uso de aditivos reductores de retracción.

(Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. 2004).

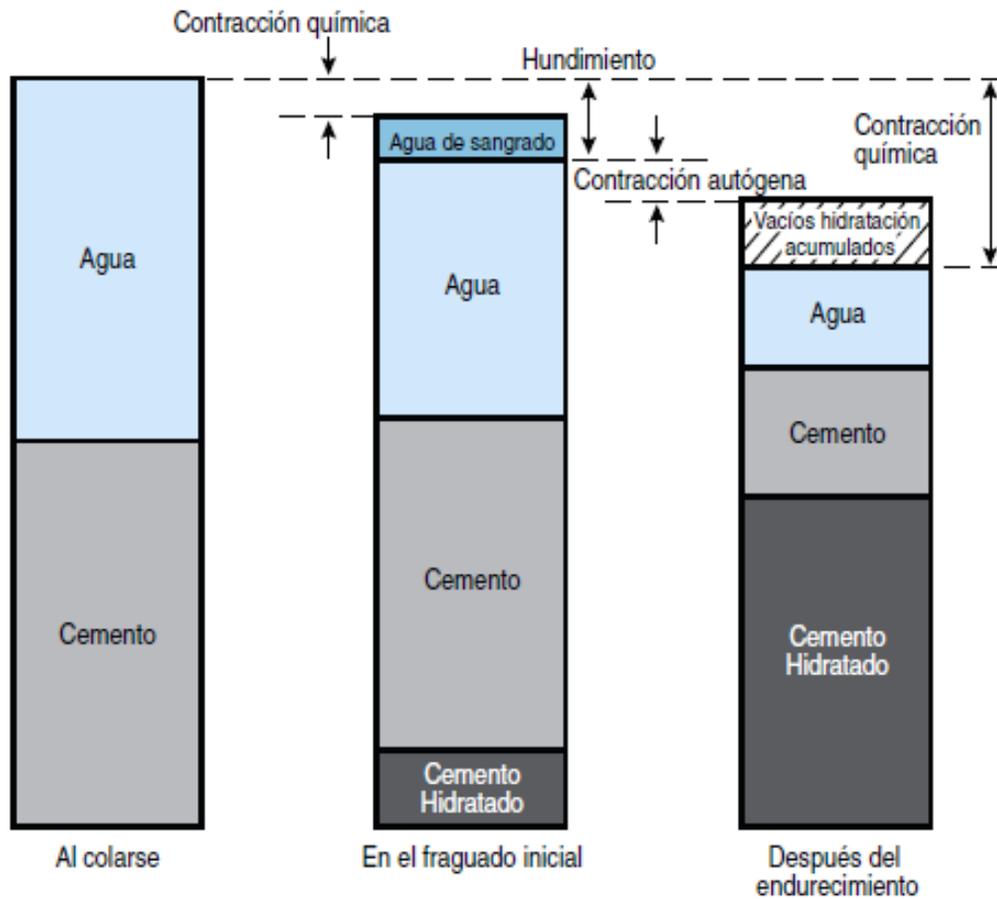


Figura 8: Relación volumétrica entre revenimiento, agua de sangrado, contracción química y contracción autógena.

Fuente: Portland Cement Association, 2004.

2.3.2.3. Hundimiento o asiento plástico

El hundimiento, asiento plástico o retracción por asentamiento, se refiere a la contracción vertical de los materiales cementantes frescos, antes del inicio de fraguado, y es resultado del sangrado o la exudación (asentamiento de los sólidos con relación a los líquidos), de la subida de los vacíos de aire hacia la superficie y de la contracción química. El hundimiento del concreto bien consolidado, con un sangrado mínimo, es insignificante. El hundimiento excesivo arriba de elementos

inseridos, tales como acero de refuerzo (armadura), puede resultar en agrietamiento (fisuración) sobre estos elementos. Los concretos producidos con aire incluido (incorporado), la cantidad suficiente de materiales finos y la relación agua cemento baja tienden a minimizar el agrietamiento por hundimiento. De la misma manera, las fibras plásticas pueden reducir la fisuración por hundimiento. (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. 2004).

El asiento plástico es un fenómeno que experimenta el concreto cuando se produce la exudación o sangrado, se produce en las primeras tres horas, variando un poco este plazo con la temperatura. La exudación es un fenómeno inherente al concreto que no puede ser eliminado. En tiempo húmedo, frío y sin viento el agua exudada se ve en la superficie, mientras que en tiempo caluroso, seco y con viento, el agua exudada se evapora de la superficie más rápidamente de lo que el agua de reposición acude a ella. La exudación puede reducirse a través de, menor cantidad de cemento, adiciones en el cemento o al concreto de finura comparable a la del cemento, reducida relación agua cemento, empleo de agentes aireantes y un control riguroso del tipo y calidad si es que se usa aditivos retardadores. En general se trata de fisuras amplias y poco profundas, de escasa transcendencia estructural, siendo más frecuentes en elementos de canto y elementos verticales como pilares y muros. (Calavera, J. 2005).

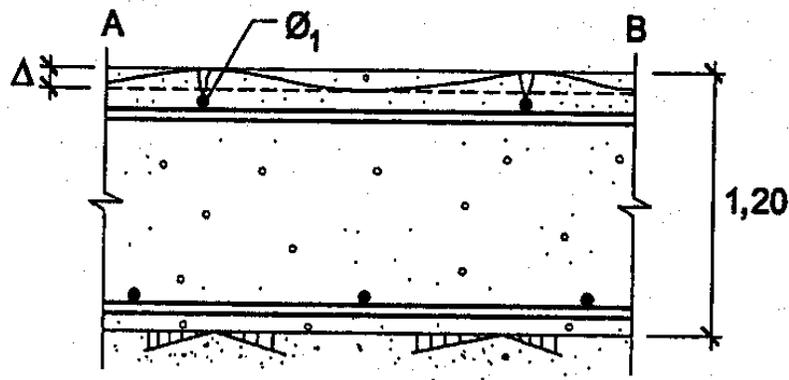


Figura 9: Asiento plástico Ä.

Fuente: Calavera, J. 2005.

2.3.2.4. Contracción plástica

Contracción plástica se refiere a los cambios que ocurren mientras el concreto aún está en estado fresco, antes de endurecerse. Normalmente, se presenta en la forma de fisuras por contracción plástica, que ocurren antes o durante el acabado. Las grietas frecuentemente se parecen a rasgaduras en la superficie. La Contracción plástica resulta de la combinación de las retracciones química y autógena y la rápida evaporación de la humedad de la superficie, superando la tasa de sangrado (exudación). La contracción plástica se puede controlar con la disminución de la evaporación de la superficie a través del uso de rociado, rompevientos, sombreado, cubiertas de láminas de plástico, arpillera húmeda, auxiliares de acabado aerosol (retardadores de evaporación) y fibras plásticas. (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. 2004).

La contracción plástica se produce entre la primera y la seis horas a partir de la colocación del concreto, y sus daños son frecuentes en elementos superficiales como pavimentos, losas, muros, etc. Se produce especialmente cuando la evaporación del agua exudada es más rápida que la velocidad de acudida del agua de la masa interna de la superficie, frenada por acción capilar en los poros del concreto. Situación típica en el concreto en climas secos con vientos, agravándose la situación si el curado es deficiente. Generalmente son fisuras amplias y poco profundas (menores a 30 mm), de escasa trascendencia estructural, pueden ser cerradas fratasando la superficie del concreto. (Calavera, J. 2005).

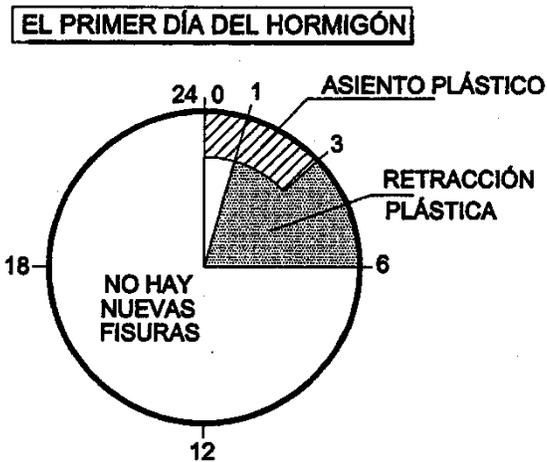


Figura 10: El primer día del concreto.

Fuente: Calavera, J. 2005.

Cuando la pasta de cemento es plástica experimenta una retracción volumétrica, cuya magnitud es del orden de 1% del volumen total del cemento seco. Esta reducción se conoce como retracción plástica, la pérdida de agua por evaporación de la superficie del hormigón agrava la retracción plástica y puede llevar a un agrietamiento superficial. Sin embargo, si se evita por completo la evaporación inmediatamente después de la colocación del hormigón, se elimina el agrietamiento. Por el lado de los materiales, se ha encontrado que la retracción plástica aumenta junto con el contenido de componentes finos en la mezcla de hormigón, de esta forma si agregamos más cemento en la mezcla, si se usa cemento fino o se incorpora polvo de sílice incrementa la tendencia del hormigón a tener fisuras por retracción plástica. (Munizaga, G. 2009).

2.3.2.5. Hinchazón

El concreto, el mortero y la pasta de cemento se hinchan con la presencia de agua externa. El volumen de la masa del concreto aumenta cuando el agua externa reemplaza el agua drenada de los capilares por la contracción química. Como no hay autodesecación, no hay contracción autógena. El agua externa puede venir del

curado húmedo o sumersión. La hinchazón ocurre debido a la combinación del crecimiento de los cristales, absorción de agua y presión osmótica. La magnitud de la hinchazón no es muy grande, sólo cerca de 50 millonésimos en las edades tempranas. Cuando se remueve la fuente de agua externa, las contracciones autógenas y de secado revierten el cambio de volumen. (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. 2004).

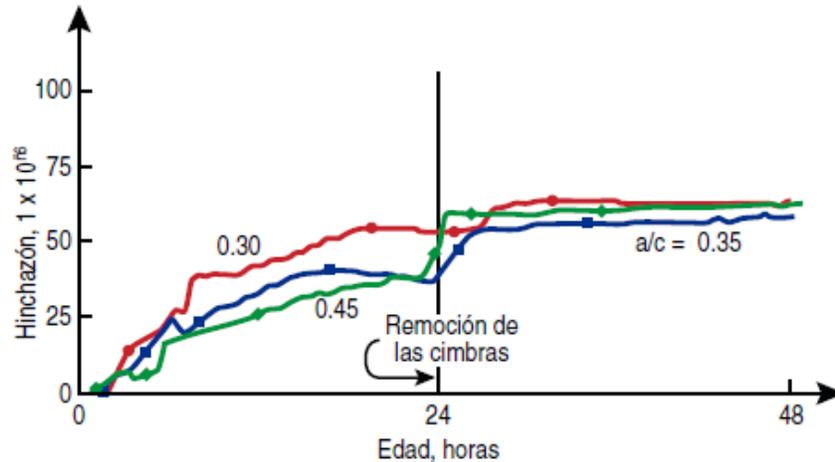


Figura 11: Hinchazón en edad temprana en especímenes de concreto 4x4x15 pulg. Curados bajo agua.

Fuente: Portland Cement Association, 2004.

2.3.2.6. Expansión térmica temprana

Conforme el cemento se hidrata, la reacción exotérmica fornece una cantidad significativa de calor. En elementos de grandes volúmenes, el calor se retiene y no se disipa como en los elementos menores. Este aumento de temperatura, que ocurre durante las primeras horas y días, puede inducir a una pequeña expansión que compensa las contracciones autógena y de secado. (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. 2004).

Producida por el calor de hidratación, derivado de la reacción de hidratación del cemento, en condiciones normales el concreto no disipa calor a suficiente velocidad, llegando a alcanzar temperaturas más altas que la del ambiente. Si la contracción térmica es coartada, encierra un riesgo potencial de fisuración entre el primero y el

quinto día de edad, en la práctica casi siempre es coartada. (Calavera, J. 2005).

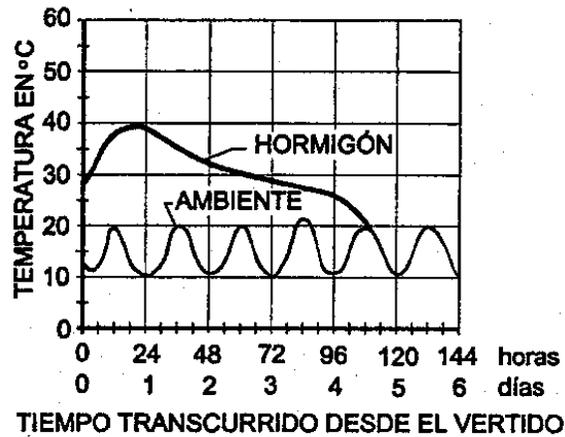


Figura 12: Temperatura del concreto y ambiente. (Muro de 0.40m de espesor). Contenido de cemento 250 kp/m³

Fuente: Calavera, J. (2005).

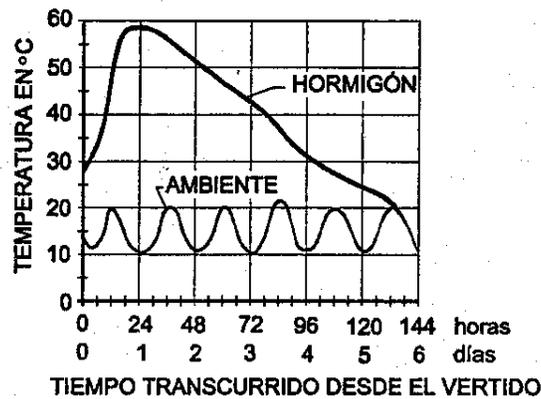


Figura 13: Temperatura del concreto y ambiente. (Muro de 0.40m de espesor). Contenido de cemento 400 kp/m³

Fuente: Calavera, J. (2005).

2.3.3. Cambios volumétricos del concreto endurecido

2.3.3.1. Contracción por secado

El concreto endurecido se expande ligeramente con el aumento de la humedad y se contrae con la pérdida de la misma. Concretos curados con humedad por siete días tienen menos contracción autógena y por secado que el concreto si curado húmedo,

esto muestra la importancia del curado húmedo temprano La contracción por secado del concreto liviano estructural tiene una variación de casi 30 % más que el concreto de densidad normal, dependiendo del tipo de agregado empleado. La contracción por secado del concreto reforzado es menor que aquella del concreto simple y la diferencia depende de la cantidad de refuerzo. El acero de refuerzo restringe, pero no previene, la contracción por secado. En estructuras de concreto reforzado con cantidades normales de refuerzo, la contracción por secado es cerca de 200 a 300 millonésimos. El concreto se contrae o se expande con cada cambio de contenido de humedad debido principalmente a las respuestas de la pasta de cemento a los cambios de humedad. La mayoría de los agregados presenta poca respuesta a los cambios de contenido de humedad, aunque hay pocos agregados que se expanden o contraen en respuesta a estos cambios. Donde no haya restricción, el movimiento ocurre libremente y no desarrolla esfuerzos y fisuras. Si los esfuerzos de tracción (tensión) que resultan de la contracción por secado restringida superan la resistencia a tracción del concreto, se desarrollan grietas. La contracción puede continuar por muchos años, dependiendo del tamaño y de la forma del concreto. La tasa y la cantidad final de contracción son normalmente menores en grandes masas de concreto que en pequeñas masas, por otro lado, la contracción continúa por un periodo más largo, en grandes masas. El factor controlable más importante, que afecta la contracción por secado, es la cantidad de agua por unidad de volumen de concreto. Se puede minimizar la retracción manteniéndose el contenido de agua lo más bajo posible. Esto se puede lograr haciendo con que el contenido de agregado grueso sea lo más alto posible (disminuyéndose el contenido de pasta). El uso de bajo revenimiento y métodos de colocación que minimizan los requisitos de agua son factores fundamentales en el control de la contracción del concreto. Cualquier práctica que aumente los requisitos de pasta de cemento, tales como uso de alto revenimiento (sin superplastificante), temperaturas del concreto fresco excesivamente altas, contenido alto de agregado fino o uso de agregado grueso de tamaño pequeño incrementará la contracción. Los agregados en el concreto, especialmente los agregados gruesos, restringen físicamente la retracción de la pasta de cemento en hidratación. El contenido de pasta afecta la contracción por

secado de los morteros más que la de los concretos. La cantidad y el tipo de curado pueden afectar la tasa y la cantidad final de la contracción por secado. Los compuestos de curado, selladores y revestimientos pueden retener la humedad libre en el concreto por largos periodos de tiempo, retrasando la contracción por secado. (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. 2004).

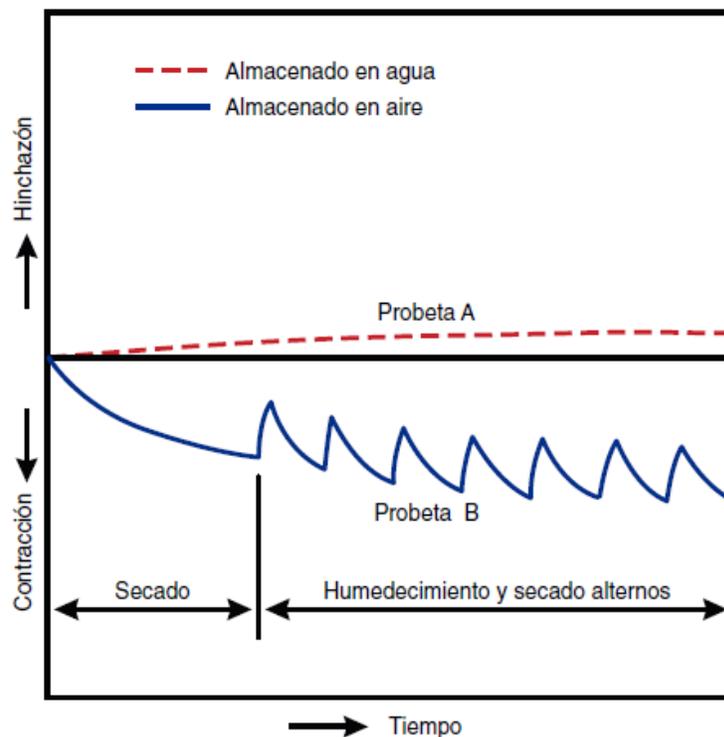


Figura 14: Movimientos de la humedad en el concreto. Si se conserva húmedo constantemente, ocurre una pequeña expansión. Humedecimiento y secado adicionales causan ciclos alternados de expansión y contracción.

Fuente: Portland Cement Association, 2004.

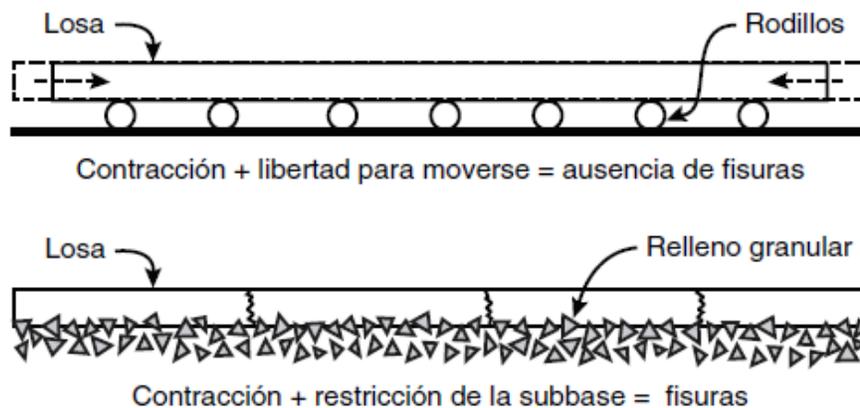


Figura 15: Contracción y agrietamiento.

Fuente: Portland Cement Association, 2004.

2.3.4. Cambios volumétricos por agentes químicos

2.3.4.1. Carbonatación

El concreto endurecido que contiene alguna humedad reacciona con el dióxido de carbono del aire y esta reacción resulta en una pequeña contracción de la pasta de la superficie del concreto. La carbonatación, no es destructivo sino que, en realidad, aumenta la estabilidad química y la resistencia del concreto. Sin embargo, la carbonatación también reduce el pH del concreto y si hay acero en el área carbonatada, puede suceder corrosión de la armadura resultante de la ausencia de la película protectora de óxido, fornecida por el pH elevado del concreto. (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. 2004).

2.3.4.2. Ataque de sulfatos

El ataque de sulfatos en el concreto puede ocurrir cuando el suelo o el agua freática tienen alto contenido de sulfatos y no se toman medidas, tales como uso de baja relación agua-materiales cementantes, para reducir el ataque de sulfato. El ataque de sulfatos es mayor en el concreto expuesto a la humedad y al secado, tales como muros de cimentaciones y postes. El ataque de sulfato normalmente es produce en una expansión del concreto debido a la formación de sólidos por la acción química o por la cristalización de sales. En condiciones severas, la cantidad de expansión ha

sido mucho mayor que 0.1% y el efecto perjudicial sobre el concreto puede causar agrietamiento y desintegración excesivas. La cantidad de expansión no se puede predecir con precisión. (Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. 2004).

2.3.5. Materiales

2.3.5.1. Cemento

En la presente investigación se ha empleado Cemento Portland Tipo MS (MH)(R), Pacasmayo Antisalitre Fortimax3, por ser uno de los cementos más comerciales en la región Lambayeque. El cemento conforme a las normas, NTP 334.082 CEMENTOS PORTLAND, especificación de la performance, y ASTM 1157 Especificación Normalizada de Desempeño para Cemento Hidráulico.

La NTP 334.001 CEMENTOS. Definiciones y nomenclatura, define al cemento adicionado como el producto obtenido por la pulverización conjunta de clinker portland y otros materiales denominados a este efecto como adiciones, como las puzolanas y la escoria, con la adición eventual de sulfato de calcio. El contenido de adiciones está limitado por la norma específica correspondiente. La incorporación de adiciones contribuye a mejorar las propiedades del cemento.

Tabla 1*Cemento Portland adicionados para construcción en general.*

Tipo	Denominación
IS	Cemento Portland con escoria de alto horno.
IP	Cemento Portland puzolánico.
IL	Cemento Portland – caliza.
I (PM)	Cemento Portland puzolánico modificado.
IT	Cemento Portland adicionado ternario.
ICO	Cemento Portland compuesto.

Fuente: NTP 334.090 CEMENTOS. Cementos Portland adicionados, requisitos.

Tabla 2*Cemento Portland con características especiales.*

Tipo	Denominación
GU	Cemento Portland construcciones generales.
HE	Cemento Portland de alta resistencia inicial.
MS	Cemento Portland de moderada resistencia a los sulfatos.
HS	Cemento Portland de alta resistencia a los sulfatos.
MH	Cemento Portland de moderado calor de hidratación.
LH	Cemento Portland de bajo calor de hidratación.
Adicional	Para cualquiera de los mencionados anteriormente.
Opción R	Baja reactividad con los agregados al álcalis.

Fuente: NTP 334.082 CEMENTOS PORTLAND, especificación de la performance

2.3.5.2. Agregados

Se utilizó agregados, piedra de ½ pulgada como tamaño máximo nominal y arena, procedentes de las canteras de Tres Tomas y La Victoria, respectivamente. La NTP 400.037 AGREGADOS, especificaciones normalizadas para agregados en concreto, define como el conjunto de partículas, de origen natural o artificial, pueden ser tratadas o elaboradas, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la presente norma.

Agregado fino, aquel proveniente de la desagregación natural o artificial, que pasa por el tamiz 9.5 mm (N° 3/8 pulg.). Natural o manufacturada, o una combinación de ambas, sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compactos y resistentes. Deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas, escamosas o blandas, pizarras, sales, materia orgánica (Según NTP 400.013 AGREGADOS, método de ensayo normalizado para determinar el efecto de las impurezas del agregado fino sobre la resistencia de morteros y concreto), etc. Se recomienda un módulo de fineza entre 2.3 y 3.1.

Agregado grueso, aquel material retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4). Puede ser grava natural o triturada, piedra partida, o agregados metálicos naturales o artificiales. Las partículas deben ser químicamente estables y libres de escamas, tierra, polvo, limo, materia orgánica, sales, etc. Es recomendable que la granulometría seleccionada no tenga más del 5% del agregado retenido en la malla 1 ½ pulgada y no más del 6% del agregado que pasa la malla ¼ pulgada.

Tabla 3

Límites de sustancias perjudiciales en los agregados.

Ensayos	Agregado Fino	Agregado Grueso
Partículas deleznales	3%	3%
Material más fino que malla N°200		
Concreto sujeto a abrasión	3% (a)	1%
Otros concretos	5% (a)	1%
Carbón y lignito	0.5%	0.5%
Abrasión		50%
Valor de impacto del agregado		30%
Desgaste con sulfato de sodio	10%	12%
Desgaste con sulfato de magnesio	15%	18%

Fuente: NTP 400.037 AGREGADOS, especificaciones para agregados en concreto. (a) en el caso de arena manufacturada, si el material está libre de limos y arcillas, estos límites podrán aumentarse a 5% y 7 % respectivamente.

Dentro de las principales características de los agregados que intervienen en el diseño de mezclas se tiene, Granulometría, peso unitario, peso específico y absorción y contenido de humedad.

La granulometría (NTP 400.012 AGREGADOS, análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global) es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado, que se determina a través del análisis de los tamices. Las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto de una amasada a otra. Las arenas muy finas son normalmente antieconómicas, mientras que arenas y gravas gruesas pueden producir mezclas sin trabajabilidad. En general, los agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño y presentan una curva granulométrica suave, producirán los resultados más satisfactorios.

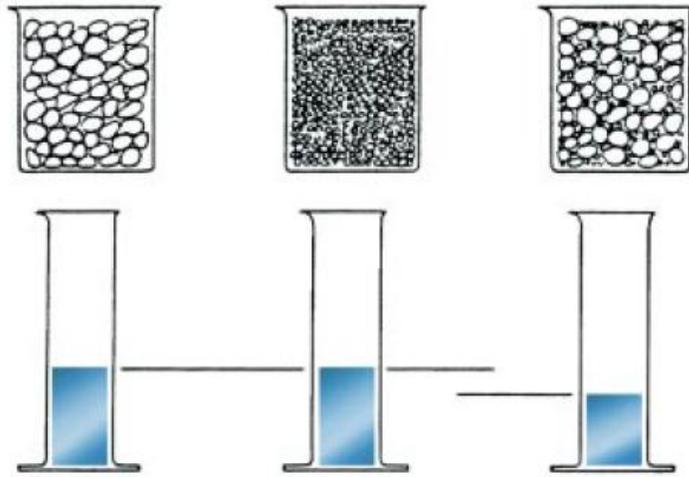


Figura 16: Teoría de la máxima densidad. El nivel del líquido en las probetas representan a los vacíos, es constante para volúmenes absolutos iguales de agregados con tamaños uniformes, aunque diferentes. cuando se combinan tamaños diferentes, el contenido de vacíos disminuye.
Fuente: Portland Cement Association, 2004.

Tabla 4

Limites recomendables para granulometría del agregado fino.

Malla	% Que pasa
9.5 mm (3/8 ")	100
4.75 mm (No 4)	95 a 100
2.36 mm (No 8)	80 a 100
1.18 mm (No 16)	50 a 85
600 - μm (No 30)	25 a 60
300 - μm (No 50)	5 a 30
150 - μm (No 100)	0 a 10

Fuente: NTP 400.037 AGREGADOS, especificaciones para agregados en concreto.

Tabla 5

Requisitos granulométricos del agregado grueso.

HUSO	TMN		Porcentaje que pasa por los Tamices Normalizados													
	mm	Pulg.	100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	38 mm	25 mm	19 mm	13 mm	10 mm	5 mm	2 mm	1 mm	300 μm
			4 pulg	3 1/2	3	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	N° 4	N° 8	N° 16	N° 50
1	90 a 37.5	3 1/2 a 1 1/2.	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 15						
2	63 a 37.5	3 1/2 a 1 1/2.			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	50 a 25	2 a 1.				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15					
357	50 a 4.75	2 a N° 4.				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
4	37.5 a 19	1 1/2 a 1/4.					100	90 a 100	20 a 55	0 a 5		0 a 5				
467	37.5 a 4.75	1 1/2 a N° 4.					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
5	25 a 9.5	1 a 1/2.						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
56	25 a 9.5	1 a 3/8.						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	25 a 4.75	1 a N° 4.						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	19 a 9.5	3/4 a 3/8.							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	19 a 4.75	3/4 a N° 4.							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	12.5 a 4.75	1/2 a N° 4.								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	9.5 a 2.36	3/8 a N° 8.									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	9.5 a 1.18	3/8 a N° 16.									100	90 a 100	25 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 a 1.18	N° 4 a N° 16.										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: NTP 400.037 AGREGADOS, especificaciones para agregados en concreto.

La norma E-060 Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones, indica respecto al tamaño máximo nominal del agregado grueso que no debe ser superior a, $1/5$ de la menor separación entre los lados del encofrado, $1/3$ de la altura de la losa, $3/4$ del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes, tendones, paquetes de tendones o ductos.

El peso unitario de los agregados (NTP 400.017 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado) es la masa o el peso del agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen a que se refiere aquí es aquél ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas de agregado. El peso unitario aproximado del agregado comúnmente usado en el concreto de peso normal varía de 1200 a 1750 kg/m³. La cantidad de vacíos entre las partículas afecta la demanda de pasta en el diseño de la mezcla. La cantidad de vacíos varía de cerca del 30% a 45% para el agregado grueso y de cerca del 40% a 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta la cantidad de vacíos, mientras que los tamaños mayores de un agregado bien graduado y la mejoría de la granulometría disminuyen el contenido de vacíos.

Peso específico y absorción (NTP 400.021 y NTP 400.022 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción, de agregado grueso y agregado fino, respectivamente). El peso específico de un agregado es la relación de su peso al peso de un volumen igual de agua. Se usa en algunos cálculos para el control y proyecto de mezclas. La mayor parte de los agregados de peso normal tienen pesos específicos comprendidos entre 2400 kg/m³ y 2900 kg/m³.

Respecto al Contenido de humedad (NTP 339.185 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado) es la cantidad total de agua que contiene la muestra de agregado al momento de efectuar la determinación de su masa, puede estar constituida por la suma del agua superficial y la absorbida.

2.3.5.3. Agua

El agua a emplearse en la preparación y curado del concreto debe cumplir con las exigencias de la norma NTP 339.088 CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland. Quedando prohibido el uso de aguas acidas, calcáreas, minerales, carbonatadas, agua proveniente de minas o relaves, materia orgánica, humus, descargas de desagües, etc.

Tabla 6

Porcentaje permisible de elementos en el agua de mezcla.

Elemento	Valor Máximo
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de Magnesio	150 ppm
Sales solubles totales	1500 ppm
Ph	> 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia Orgánica	10 ppm

Fuente: NTP 339.088 CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland.

2.3.5.4. Fibra de polipropileno

En la presente investigación se utilizó fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina, que pertenece a la familia de fibras sintéticas que se fabrican por el hombre y son resultado de la investigación y el desarrollo de las industrias petroquímicas y textiles. Dentro de este grupo de fibras sintéticas se tiene fibras, acrílicas, aramida, carbón, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno.

En el concreto forman una red densa tridimensional capaz de reducir el agrietamiento en las primeras 24 horas después de colocado el concreto.

Tabla 7

Propiedades físicas de Chema Fibra Ultrafina.

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

Fuente: Catalogo técnico Chema Fibra Ultrafina, Chema 2014.



Figura 17: Chema Fibra Ultrafina.

Fuente: Elaboración Propia. (2016).

2.3.5.5. Aditivo superplastificante

En la presente investigación se utilizó un aditivo superplastificante Chemament 440, aditivo utilizado en este caso para recuperar el asentamiento perdido por la incorporación de fibra de polipropileno. Cumple con la norma ASTM C-494, tipo D.

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado.

La eficiencia de un aditivo depende de factores tales como: tipo, marca, cantidad del material cementante, contenido de agua, forma, granulometría, proporción de los agregados, tiempo de mezclado y temperatura del concreto.

Tabla 8

Tipos de aditivos según sus funciones.

Tipo de aditivos
Aditivo incorporador de aire
Aditivo reductor de agua
Plastificantes (fluidificantes)
Aditivos aceleradores (acelerantes)
Aditivos retardadores (retardantes)
Aditivos de control de la hidratación
Inhibidores de corrosión
Reductores de retracción
Inhibidores de reacción álcali-agregado
Aditivos colorantes
Aditivos diversos;
Mejoradores de trabajabilidad
Mejoradores de adherencia
Impermeabilizantes
Formadores de gas
Espumantes
Etc.

Fuente: Portland Cement Association, 2004.

Tabla 9

Especificación Normalizada de aditivos.

Tipo	Descripción
A	Aditivos reductores de agua
B	Aditivos retardadores
C	Aditivos aceleradores
D	Aditivos reductores de agua y retardadores
E	Aditivos reductores de agua y aceleradores
F	Aditivos reductores de agua de alto rango
G	Aditivos reductores de agua de alto rango y retardadores
S	Aditivos de desempeño específico

Fuente: ASTM C-494. Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto.

2.3.6. Ensayos en estado plástico

2.3.6.1. Asentamiento

El ensayo de revenimiento o asentamiento del cono de Abrams, es el método más ampliamente aceptable y utilizado para medir la consistencia del concreto, normado por la NTP 339.035 CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto con el cono de Abrams. El equipo de prueba consiste en un cono de revenimiento (molde cónico de metal 300 mm (12 pulg.) de altura, con 200 mm (8 pulg.) de diámetro de base y 100 mm (4 pulg.) de diámetro de la parte superior) y una varilla de metal con 16 mm de diámetro (5/8 pulg.) y 600 mm (24 pulg.) de longitud con una punta de forma hemisférica.

El cono húmedo, colocado verticalmente sobre una superficie plana, rígida y no absorbente, se debe llenar en tres capas de volúmenes aproximadamente iguales. Por lo tanto, se debe llenar el cono hasta una profundidad de 70 mm (2 1/2 pulg.) en la primera capa, una profundidad de 160 mm (6 pulg.) en la segunda y la última capa se debe sobrellenar. Se aplican 25 golpes en cada capa. Después de los golpes, se enrasa la última capa y se levanta el cono lentamente aproximadamente 300 mm (12 pulg.) en 5 ± 2 segundos. A medida que el concreto se hunde o se asienta en una

nueva altura, se invierte el cono vacío y se lo coloca gentilmente cerca del concreto asentado. El revenimiento o el asentamiento es la distancia vertical que el concreto se ha asentado, medida con una precisión de 5 mm (1/4 pulg.). Se usa una regla para medir de la parte superior del molde del cono hasta en centro original desplazado del concreto asentado. Todo el ensayo hasta la remoción del cono se debe completar en 2 1/2 minutos, pues el concreto pierde revenimiento con el tiempo. Si hay desmoronamiento de una parte del concreto, se debe realizar otra prueba con otra porción de la muestra.



Figura 18: *Ensayo de Asentamiento. Medición del asentamiento.*

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

2.3.6.2. Peso unitario

El peso unitario se determina de acuerdo a la NTP 339.046 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).

Se sigue la recomendación de la norma indicada anteriormente, el tamaño máximo de los agregados debe ser 1 ½ pulgadas, herramientas limpias y húmedas, se

verifica el peso de la olla en la balanza y se debe anotar el peso y el volumen, se llena en 3 capas de igual altura, efectuándose 25 varilladas por cada capa, por capa varillada se aplica entre 10 a 15 golpes laterales con el martillo de goma de 600 gr, para cada capa. Llenado el molde, se enrasa con la regla metálica y se limpia todo el molde, finalmente se pesa el recipiente más el concreto en la balanza electrónica.

$$\text{Peso Unitario del concreto (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso del concreto (kg)}}{\text{Volumen de olla (m}^3\text{)}} \dots(2)$$

$$\text{Rendimiento del concreto (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso de los materiales (kg/m}^3\text{)}}{\text{Peso Unitario del concreto (kg/m}^3\text{)}} \dots(3)$$



Figura 19: Ensayo de Peso Unitario. Peso de Concreto varillado más peso de olla.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

2.3.6.3. Contenido de aire

El contenido de aire se ha realizado siguiendo el método a presión que indica la NTP 339.080. HORMIGON (CONCRETO). Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas. Ensayo tipo hidráulico. El método por presión se basa en la ley de Boyle, la cual relaciona presión y volumen. El ensayo se realiza después de realizar el ensayo de peso unitario del concreto.

Primero se revisa que la empaquetadura de la olla este limpia, luego se asegura la tapa cerrando todos los seguros, se abren las dos válvulas de cebado y se agrega

agua en una de ellas (en la que tiene el embudo receptor de agua) hasta que salga el agua por la otra válvula de cebado, ocurrido esto se empieza a bombear aire con el pistón hasta que la aguja del manómetro marque la presión de calibración del instrumento, realizada la calibración se cierran las dos válvulas de cebado, finalmente se abre la válvula de la cámara de presión para permitir que el aire ingrese a la olla de medición, el manómetro registrará el contenido de aire de del concreto. Este concreto no podrá ser utilizado en otros ensayos o en elaboración de probetas.



Figura 20: Ensayo de Contenido de aire.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

2.3.6.4. Temperatura

La temperatura del concreto fresco se efectuó siguiendo las recomendaciones de la NTP 339.184:2013. HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto). Para realizar la medición de la temperatura del concreto fresco el sensor de temperatura será cubierto al menos 7.5 cm (3") de concreto en todas las direcciones, este debe estar cubierto 2,5 minutos o hasta que se estabilice la temperatura y tendrá una aproximación de 0.5 °C. La temperatura debe estar entre el rango de -18°C y 50°C .



Figura 21: Temperatura del concreto fresco.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

2.3.6.5. Potencial de fisuración

Este ensayo fue diseñado para poder evaluar cuantitativamente el grado de fisuración por contracción plástica en un elemento superficial restringido internamente y sometido a un ambiente con una alta tasa de evaporación. Para ello se diseñó el ensayo teniendo en cuenta criterios de la norma ASTM C1579 – 12 Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete.

El molde de ensayo tiene dimensiones internas de $355 \pm 10\text{mm} \times 560 \pm 10 \text{ mm} \times 100 \pm 5\text{mm}$.

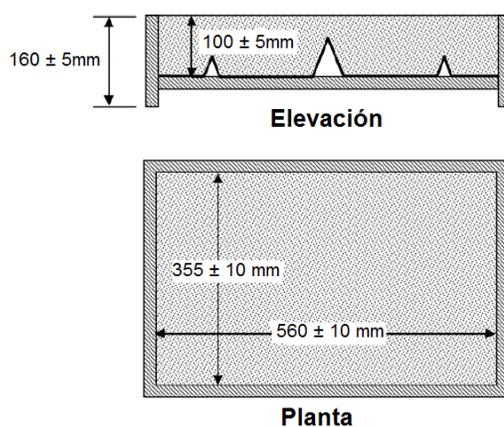


Figura 22: Planta y Elevación de Molde de fisuración.

Fuente: ASTM C1579 – 12 Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete.

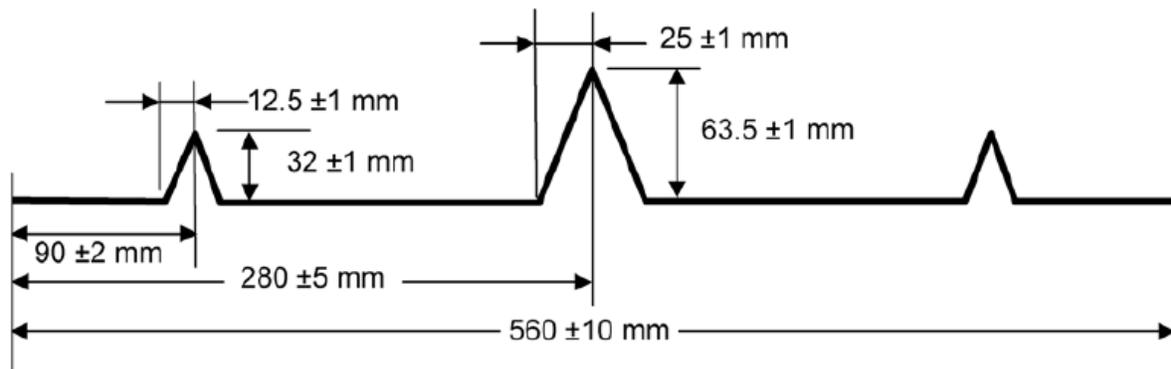


Figura 23: Elevación y detalles de las restricciones o elevadores del Molde de fisuración.

Fuente: ASTM C1579 – 12 Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete.



Figura 24: Moldes de fisuración. A la izquierda se aprecia un molde lleno de concreto, a la derecha se aprecia un molde vacío.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

El objeto de tener un molde con las restricciones o elevadores indicadas en la presente norma es que se genere la suficiente restricción en la base de la losa de modo que a través del elevador puesto en la base y con el cual se reduce el espesor de la misma se genere un patrón de falla que atraviese el espécimen en toda la anchura de la muestra. Dada la geometría del molde es de entender que siempre la falla se presentara en el elevador central en el cual existe el menor espesor posible

en el espécimen, por tanto es poco común encontrar losas en esta clase de ensayos en donde se produzca la fisura a través de los tres elevadores presentes en el molde.

Este método de prueba compara el agrietamiento de la superficie de losas de concreto fibroreforzados con el agrietamiento de la superficie de losas concreto patrón o estándar, ambos casos sometidos a condiciones de restricción y pérdida de humedad que son lo suficientemente graves como para producir el agrietamiento antes del final del fraguado del concreto.

Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer apropiada prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad y limitaciones reglamentarias antes de su uso.

Con el ensayo se busca exponer el concreto a altas tasas de evaporación (mayor a 1.5 lt/m²/h) ocasionando un alto nivel de riesgo de fisuración, esto se logra creando un ambiente de condiciones ambientales controlado, mediante el uso de reflectores, ventilador y un túnel de viento encargado de canalizar uniformemente el viento y mantener constantes las condiciones ambientales dentro del mismo. El ventilador se programó para trabajar a una velocidad de 4.7 m/s, manteniéndose la temperatura dentro del túnel en 35°C. El ensayo tuvo una duración de 6 horas para todas las muestras, tiempo suficiente para lograr la inducir la contracción plástica según Calavera, J (2005), el mismo ensayo con la misma duración lo realizó; Manzano, J (2014) y Dávila, M (2014), incluso Rojas, H (2009) realizó el ensayo con una duración de 2 horas.

Iniciado el ensayo, se registra la hora en que aparece la primera fisura, concluido el tiempo del ensayo, se mide el ancho promedio de la fisura de cada muestra, finalmente se calcula la relación de reducción de fisuración (CCR).

$$CCR (\%) = \left[1 - \frac{\text{Ancho promedio de fisura en muestras fibroreforzada}}{\text{cho promedio de fisura en muestra de control}} \right] * 100 \dots(4)$$

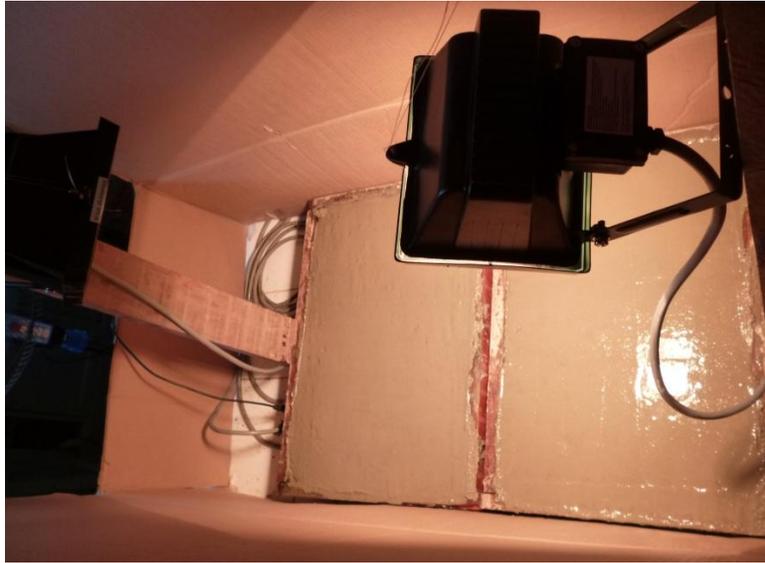


Figura 25: Losas de concreto en el túnel de viento.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Figura 26: Equipo para medir ancho de fisuras. A la izquierda un fisurómetro electrónico, a la derecha un comparador de fisuras.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

2.3.7. Ensayos en estado mecánico

2.3.7.1. Resistencia a la compresión

El ensayo de resistencia a la compresión se realizó de acuerdo a la NTP 339.034 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto.

La norma es aplicable a concreto con peso específico mayor a 800 kg/m^3 , consiste en aplicar una carga axial a los cilindros moldeados o extracciones diamantinas. La máquina de ensayo calibrada, contará con dos bloques de acero, una de las cuales se asentará sobre una rótula, que le permita acomodarse a la superficie superior de la probeta y el otro sobre un sólido bloque en el que se asienta la misma. Las caras de los bloques tendrán una dimensión mínima de al menos 3% mayor que el diámetro de las probetas a ser ensayadas.

Tabla 10

Máximo valor del diámetro del bloque y de la probeta de ensayo.

Diámetro de probeta de ensayo, mm	Máximo diámetro, mm
50	105
75	130
100	165
150	255
200	280

Fuente: NTP 339.034 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto.

El centro de la rótula coincidirá con la superficie de la cara de rotura con una tolerancia de $\pm 5\%$ el radio de la rótula. El diámetro de la rótula será de al menos 75% el diámetro de la probeta a ser ensayada.

Las probetas no serán ensayadas si cualquier diámetro individual de un cilindro difiere de cualquier otro diámetro del mismo cilindro por más del 2%. El diámetro usado para el cálculo de la probeta de ensayo será determinado con aproximación

de 0.25 mm por el promedio de dos diámetros medidos en ángulo recto uno del otro y cerca de la altura media de la probeta. Siendo el número de cilindros individuales medidos para la determinación del diámetro promedio de uno por cada diez probetas o tres probetas por día, tomándose el mayor.



Figura 27: Equipo para medir resistencia a la compresión, Prensa Hidráulica.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Los ensayos a compresión serán ejecutados tan pronto como sean retirados las probetas de la cámara húmeda, siendo ensayados en condición húmedos.

Tabla 11

Tolerancias para la el tiempo de fractura de probetas.

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	± 0.5 h ó 2.1 %
3 d	± 2 h ó 2.8 %
7 d	± 6 h ó 3.6 %
28 d	± 20 h ó 3 %
90 d	± 48 h ó 2.2 %

Fuente: NTP 339.034 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto.

Al colocar la probeta en la prensa hidráulica verificar que estén libres de partículas u otros cuerpos las bases de la probeta con los bloques, así mismo su alineación y perpendicularidad.

La carga será aplicada a una velocidad de movimiento correspondiendo a una velocidad de esfuerzo sobre la probeta de 0.25 ± 0.05 MPa/s. la velocidad de movimiento diseñada será mantenida al menos durante la mitad final de la fase de carga anticipada.

El cálculo de la resistencia a la compresión del espécimen se realiza dividiendo la carga máxima alcanzada entre el área promedio de la sección transversal de la probeta, el resultado se expresa con aproximación a 0.1 MPa.

Si la relación de la longitud del espécimen entre su diámetro es 1.75 o menor, el resultado se deberá corregir por un factor de corrección apropiado según se indica en la tabla siguiente.

Tabla 12

Factor de corrección para relaciones $L/D \leq 1.75$

L/D	1.75	1.50	1.25	1.00
Factor	0.98	0.96	0.93	0.87

Fuente: NTP 339.034 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto.



Figura 28: Moldes plásticos para probetas, dimensiones 4 x 8 Pulg. Relación $L/D = 2$.

Fuente: Elaboración Propia. (2016).

Cuando se desee conocer la densidad del espécimen, hasta con una aproximación de 10 kg/m^3 se realiza:

$$D = \frac{\text{Masa del espécimen (kg)}}{\text{Volumen del espécimen (m}^3\text{)}} \dots(5)$$

El coeficiente de variación en el laboratorio representa la variación esperada de mediciones de resistencia en cilindros preparados de una misma muestra de concreto y ensayados por un laboratorio a una misma edad. Los valores indicados

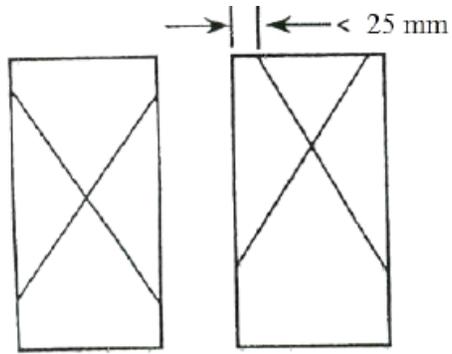
para el coeficiente de variación en el laboratorio para cilindros de 150 x 300 mm son aplicables para resistencias a la compresión entre 15 MPa y 55 MPa, y para cilindros de 100 x 200 mm son aplicables para resistencias a la compresión entre 17 MPa y 32 MPa.



Figura 29: Especimen $f'c$ 280 kg/cm² con adición de fibra de polipropileno en dosis de 400 gr/m³ 4 x 8 Pulg. Relación L/D = 2. Especimen en el interior de la Prensa Hidráulica.

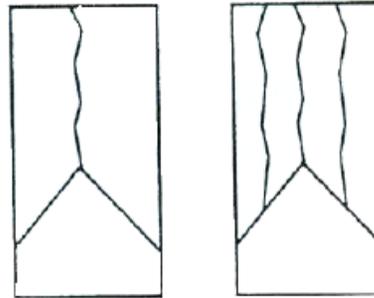
Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Adicionalmente se debe observar el patrón de fractura del espécimen.



Tipo 1

Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



Tipo 2

Cono bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



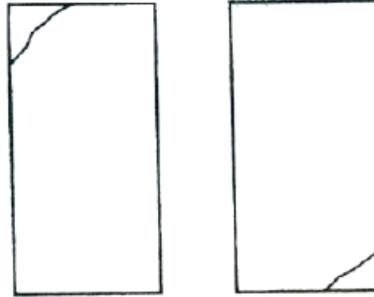
Tipo 3

Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados



Tipo 4

Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo I



Tipo 5

Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado



Tipo 6

Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado

Figura 30: Patrones de tipo de fractura.

Fuente: NTP 339.034 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto.

2.3.7.2. Resistencia a la flexión

El ensayo de resistencia a la flexión se realizó de acuerdo a la NTP 339.078 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto e vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga en los tercios de la luz de la viga hasta que ocurra la falla. El módulo de rotura se calculará según la ubicación de la falla, dentro del tercio medio o a una distancia de este no mayor del 5% de la luz libre.

No están permitidas máquinas de ensayo manuales que funcionan con bombas que no aplican una carga continua en una sola carrera del pistón. Son permitidas las motobombas o bombas manuales de desplazamiento positivo, con volumen suficiente para completar el ensayo en una sola carrera del pistón. La máquina deberá ser capaz de aplicar cargas con una velocidad uniforme, sin golpes o interrupciones.

Todos los aparatos para hacer ensayos de flexión en el concreto deben ser capaces de mantener constante la longitud del tramo especificado y las distancias entre placas de carga dentro de ± 1 mm.

La relación de la distancia horizontal entre el punto de aplicación de la carga y el punto de aplicación de la reacción más cercana a la profundidad de la viga deberá ser de 1 ± 0.03 .

El aparato será capaz de mantener constante la distancia entre apoyos y la distancia entre placas de carga, con aproximación de 2 mm.

La carga deberá aplicarse perpendicularmente a la cara superior de la viga de manera tal que se evite toda excentricidad.

La dirección de las reacciones deberá ser paralela a la dirección de la carga aplicada mientras se realice la prueba.

La carga debe ser incrementada gradualmente y sin impacto.

Respecto a la viga, tendrá una luz libre entre apoyos equivalente a tres veces su altura con una tolerancia del 2%. Las caras laterales de la viga formaran ángulos rectos con las caras superior e inferior de la misma. Todas las superficies debes estar libres de asperezas y cangrejeras.



Figura 31: Moldes metalicos para vigas, dimensiones 6 x 6 x 21 Pulg.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

El ensayo de flexión se realizara tan pronto se extrae la viga de la cámara húmeda, el ensayo es en condición húmeda, aplicándose la carga al espécimen de forma continua y sin impactos hasta producirse la rotura. La carga debe aplicarse a una velocidad que incremente constantemente la resistencia de la fibra extrema, entre 0.9 MPa/min y 1.2 MPa/min, hasta producir la rotura de la viga. La relación de carga se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$r = \frac{Sbd^2}{L} \dots(6)$$

Donde;

r , es la relación de carga, en N/min.

S , es la tasa de incremento de la tensión máxima en la cara de tracción, en MPa/min.

b , es el ancho promedio de la viga según su disposición para el ensayo, en mm.

d , es la altura promedio de la viga, según su disposición para el ensayo, en mm.

L , es la longitud del tramo, en mm.

Para determinar las dimensiones de la sección transversal de la muestra para su aplicación en el cálculo del módulo de ruptura, tomar las mediciones a través de una de las caras fracturadas después de la prueba. El ancho y la profundidad se miden en la muestra conforme se dispuso para el ensayo. Para cada dimensión, tomar una medición en cada borde y una en el centro de la sección transversal. Tomar tres medidas a lo largo de cada dimensión (una en cada extremo y una al centro), para determinar el ancho promedio, altura promedio y ubicación de la línea de fractura de la viga en la sección de falla. Tomar todas las medidas con precisión de 1 mm. Si la fractura ocurre en una sección de refrentado se incluye la medida del espesor de la capa.



Figura 32: Viga $f'c$ 280 kg/cm² patrón, dimensiones 6 x 6 x 21 Pulg. Lista para ensayo.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Si la falla ocurre dentro del tercio medio de la luz, el módulo de rotura se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$Mr = \frac{PL}{bh^2} \dots(7)$$

Dónde:

M_r , es el Módulo de Rotura, en MPa.

P , es la carga máxima de rotura, en N.

L , es la luz libre entre apoyos, en mm

b , es el ancho de la viga, en mm.

h , es la altura de la viga, en mm.

El peso de la viga no está considerado en el cálculo anterior.

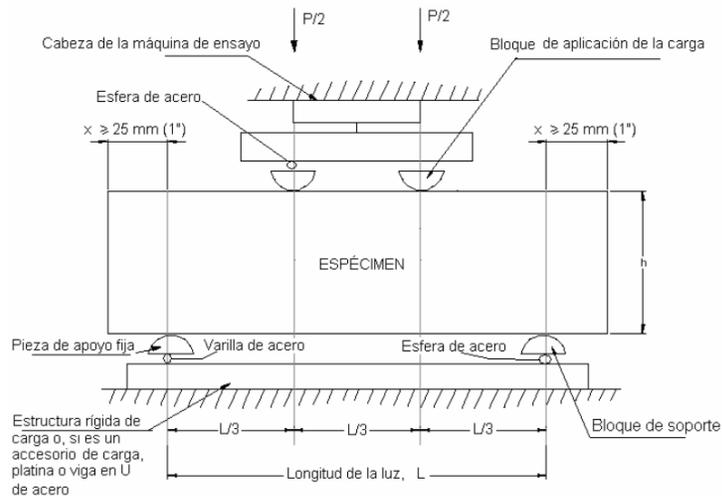


Figura 33: Características de las dimensiones de la viga y su posición antes del ensayo.

Fuente: ASTM C78. Método de prueba estándar para resistencia a la flexión del concreto (utilizando una viga simple cargada en los tercios de la luz).

Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia de este no mayor del 5% de la luz libre, el módulo de rotura se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$Mr = \frac{3Pa}{bh^2} \dots(8)$$

Donde;

a, es la distancia promedio entre la línea de falla y el apoyo más cercano a la medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga, en mm.

El peso de la viga no está considerado en el cálculo anterior.

Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia de éste mayor del 5% de la luz libre, se rechaza el ensayo.

Se ha observado que el coeficiente de variación de los resultados de la prueba depende del nivel de resistencia de las vigas. Para un operador simple, el coeficiente de variación se ha establecido en 5.7%. Luego, los resultados de dos ensayos realizados adecuadamente por el mismo operador sobre vigas a partir de la muestra del mismo lote, no diferirán en más del 16%.

Cuando se trate de varios laboratorios, el coeficiente de variación se ha establecido en 7%, luego los resultados de dos ensayos sobre vigas de la muestra de un lote, no diferirán entre sí en más del 19%.

En la presente Norma Técnica Peruana no se establece la desviación mientras no sea aceptado un procedimiento normalizado para determinarla.



Figura 34: Vigas $f'c$ 280 kg/cm² con adiciones de fibra, dimensiones 6 x 6 x 21 Pulg.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Figura 35: Cámara húmeda de curado de especímenes.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Figura 36: Ensayo de resistencia a la flexión, viga simplemente apoyada cargada en los tercios de la luz.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

CAPITULO III:
MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de Investigación

Cuantitativo Cuasi experimental, donde se evaluó los efectos que produce la fibra de polipropileno (variable independiente) en las propiedades (variables dependientes) plásticas y mecánicas del concreto hidráulico. La experimentación se realizó en el laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Señor de Sipán, los datos fueron recolectados en formatos estándar del laboratorio y procesados estadísticamente.

3.1.2. Diseño de Investigación

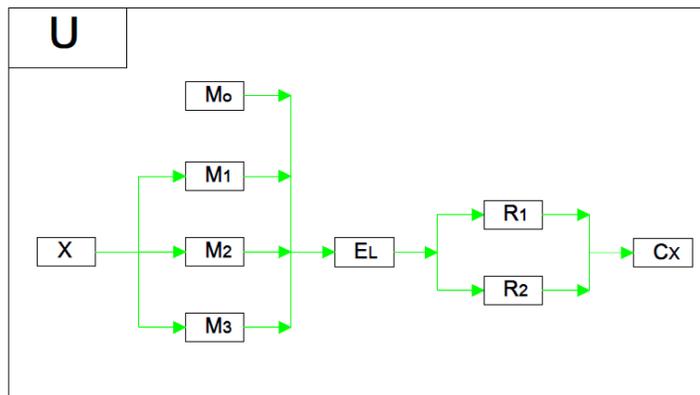


Figura 37: Diseño de la investigación

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Donde;

X Fibra polipropileno.

M₀ Mezcla con 0 gr de fibra por m³ de concreto. Para 175, 210 y 280 kg/cm².

M₁ Mezcla con 200 gr de fibra por m³ de concreto. Para 175, 210 y 280 kg/cm².

M₂ Mezcla con 300 gr de fibra por m³ de concreto. Para 175, 210 y 280

kg/cm².

M₃ Mezcla con 400 gr de fibra por m³ de concreto. Para 175, 210 y 280 kg/cm².

E_L Experimentación en laboratorio.

R₁ Resultados de las Propiedades Plásticas.

R₂ Resultados de las Propiedades Mecánicas.

C_x Conclusiones respecto a la fibra de polipropileno.

U Universo o Muestra. Concreto fibroreforzado de resistencias a la compresión de 175, 210 y 280 kg/cm².

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población de estudio para la presente investigación está conformado por concretos de resistencias a la compresión f'_c 175, 210 y 280 kg/cm², patrones que serán adicionados con fibra de polipropileno en dosis de 0, 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto.

3.2.2. Muestra

Para evaluar las propiedades del concreto se ensayaron en compresión 144 probetas (36 especímenes por cada diseño de mezcla 175, 210 y 280 kg/cm² respectivamente, adicionalmente para el diseño de mezcla de 280 kg/cm² se hicieron 36 especímenes que fueron curados con aditivo Membranil Reforzado, con la finalidad de comparar los métodos de curado), para flexión se ensayaron 36 vigas en total (12 vigas por diseño) y para medir la fisuración por contracción plástica se ensayaron 12 losas (4 losas por diseño) en túnel de viento según la norma ASTM C1579 – 12 Evaluating

Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete, y 6 losas en condiciones reales (expuestas a la intemperie).

Respecto a los materiales utilizados se empleó, Cemento Portland Tipo MS (MH)(R), Pacasmayo Antisalitre Fortimax3, como agregados piedra de media pulgada y arena, procedentes de las canteras de Tres Tomas y La Victoria, respectivamente. Fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina. De los aditivos, se utilizó un curador Membranil Reforzado y un superplastificante Chemament 440.

3.3. HIPÓTESIS

3.3.1. Contraste de hipótesis resistencia a la compresión.

Hipótesis nula $H_0: \mu_{Cp} - \mu_{Cf} = 0$. No es significativo el aporte de la adición de la fibra de polipropileno en la resistencia a la compresión del concreto hidráulico.

Hipótesis alterna $H_a: \mu_{Cp} - \mu_{Cf} < 0$. Si es significativo el aporte de la adición de la fibra de polipropileno en la resistencia a la compresión del concreto hidráulico.

3.3.2. Contraste de hipótesis resistencia a la flexión.

Hipótesis nula $H_0: \mu_{Cp} - \mu_{Cf} = 0$. No es significativo el aporte de la adición de la fibra de polipropileno en la resistencia a la flexión del concreto hidráulico.

Hipótesis alterna $H_a: \mu_{Cp} - \mu_{Cf} < 0$. Si es significativo el aporte de la adición de la fibra de polipropileno en la resistencia a la flexión del concreto hidráulico.

3.4. VARIABLES

3.4.1. Variable Independiente

Indicador

Fibra de Polipropileno

3.4.2. Variables Dependientes

3.4.2.1. Propiedades Plásticas

Indicadores

Asentamiento

Porcentaje de aire contenido

Peso unitario

Temperatura

Potencial de fisuración

3.4.2.2. Propiedades Mecánicas

INDICADORES

Resistencia a la compresión

Resistencia a la flexión.

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable Independiente

Tabla 13

Operacionalización de variable independiente en estado plástico.

Variables	Indicadores	Medición	Rango de Variabilidad	Técnica	Instrumentos	
					Recojo de Datos	Medición
Variable Independiente	Dosis	gr/m ³	0, 200, 300 y 400	Observación	Formatos Laboratorios Ensayo de Materiales	Balanza digital
Fibra de Polipropileno	Diámetro	Micrones	12	Análisis de documentos	Catálogo técnico del fabricante	Equipo de laboratorio del fabricante
El concreto fibroreforzado es una combinación de cemento hidráulico, agregados, agua y fibras dispersas aleatoriamente, éstas forman internamente una red tridimensional dentro del concreto con la finalidad de dotarle características que éste carece.	Gravedad Específica	gr/cm ³	0.91	Análisis de documentos	Catálogo técnico del fabricante	Equipo de laboratorio del fabricante
	Módulo de Elasticidad	GPa	5.5	Análisis de documentos	Catálogo técnico del fabricante	Equipo de laboratorio del fabricante
	Tenacidad	MPa	765	Análisis de documentos	Catálogo técnico del fabricante	Equipo de laboratorio del fabricante
	Resistencia a la Tensión	MPa	765	Análisis de documentos	Catálogo técnico del fabricante	Equipo de laboratorio del fabricante
	Longitud de fibra	Mm	12	Análisis de documentos	Catálogo técnico del fabricante	Equipo de laboratorio del fabricante

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Variables Dependientes en estado plástico

Tabla 14

Operacionalización de variables dependientes en estado plástico.

Variables	Indicadores	Medición	Rango de Variabilidad	Técnica	Instrumentos	
					Recojo de Datos	Medición
Variables dependientes en estado plástico.	Consistencia	Pulg.	3 a 4	Observación NTP 339.035 ó ASTM C 143	Formatos Laboratorios Ensayo de Materiales	Cono de Abrams
	Porcentaje de aire contenido	%	0.2 a 3	Observación NTP 339.080 ó ASTM C 33	Formatos Laboratorios Ensayo de Materiales	Medidor de aire a presión
Son las características y cualidades que posee el concreto en estado plástico, depende de la calidad de los agregados y adiciones utilizadas la elaboración del concreto.	Temperatura	°C	Máximo 32 °C	Observación NTP 339.184 ó ASTM C 1064	Formatos Laboratorios Ensayo de Materiales	Termómetro
	Peso Unitario	kg/m ³	2300 a 2400	Observación NTP 339.046 ó ASTM C 138	Formatos Laboratorios Ensayo de Materiales	Olla Washington
	Potencial de fisuración	%	A evaluar	Observación ASTM C1579 – 12	Formatos Laboratorios Ensayo de Materiales	Losas, 355 x 560 x 100 mm Fisurómetro Comparador de fisuras.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Variables Dependientes

Tabla 15

Operacionalización de variables dependientes en estado endurecido.

Variables	Indicadores	Medición	Rango de Variabilidad	Técnica	Instrumentos	
					Recojo de Datos	Medición
Variables dependientes en estado mecánico o endurecido.	Resistencia a la compresión	kg/cm ²	175, 210 y 280	Observación NTP 400.037 ó ASTM C 39	Formatos Laboratorios Ensayo de Materiales	Prensa Hidráulica
Son las características y cualidades que posee el concreto en estado plástico, depende de la calidad de los agregados y adiciones utilizadas la elaboración del concreto.	Resistencia a la flexión	kg/cm ²	10 a 15 del f'c	Observación NTP 339.079	Formatos Laboratorios Ensayo de Materiales	Prensa Hidráulica

Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.6. MÉTODOS TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Se aplicó el método analítico, mediante la observación y el análisis realizado a los datos obtenidos en la experimentación en laboratorio permitió reconocer los efectos que produce la fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico.

3.6.2. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el desarrollo de la presente investigación se aplicó la técnica de la Observación. Los datos observados se plasmaron en formatos estándares del Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Señor de Sipán, teniendo en cuenta las exigencias de las Normas Técnicas Peruanas o las Normas Internacionales ASTM.

Objeto de la observación; Especímenes de concreto.

Observador; Investigador.

Circunstancias en que ocurre la observación; Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Señor de Sipán.

Medios de observación; La percepción del investigador, equipos de laboratorio y formatos de recolección de y procesamiento datos.

Conocimientos observados. Resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones.

3.6.3. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Formatos estándares de diseño de mezclas del Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Universidad Señor de Sipán.

Formato de recolección de datos de las propiedades plásticas del concreto

Formato de recolección de datos de asentamiento. NTP 339.035 CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto con el cono de Abrams.

Formato de recolección de datos de Porcentaje de aire contenido. NTP 339.080. HORMIGON (CONCRETO). Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas. Ensayo tipo hidráulico.

Formato de recolección de datos de Temperatura. NTP 339.184:2013. HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto).

Formato de recolección de datos de Peso Unitario. NTP 339.046 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).

Formato de recolección de datos de Potencial de fisuración. ASTM C1579 – 12 Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete.

Formato de recolección de datos de las propiedades mecánicas del concreto

Formato de recolección de datos de resistencia a la compresión. NTP 339.034 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto.

Formato de recolección de datos de resistencia a la flexión. NTP 339.078 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto e vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.

3.7. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

En gabinete se realizó el diseño de mezclas para resistencias de 175, 210 y 280 kg/cm², el diseño de las mezclas patrones (con 0 gr/m³ de adición de fibra) fueron verificadas en laboratorio hasta obtener la mezcla cuya resistencia la requerida, las mezclas patrones fueron aprobadas por el ingeniero asesor quien autorizó la continuación de la investigación. Las mezclas patrones para cada resistencia mencionada tuvieron adiciones de fibra de polipropileno en 200, 300 y 400 gr/m³, se procedió a la selección y dosificación de los materiales para posteriormente elaborar especímenes de concreto los cuales fueron sometidos a ensayos según la propiedad a evaluar, recopilándose la información en formatos estándares del laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Señor de Sipán. Los especímenes de concreto fueron elaborados respetando los requerimientos exigidos en las NTP o ASTM.

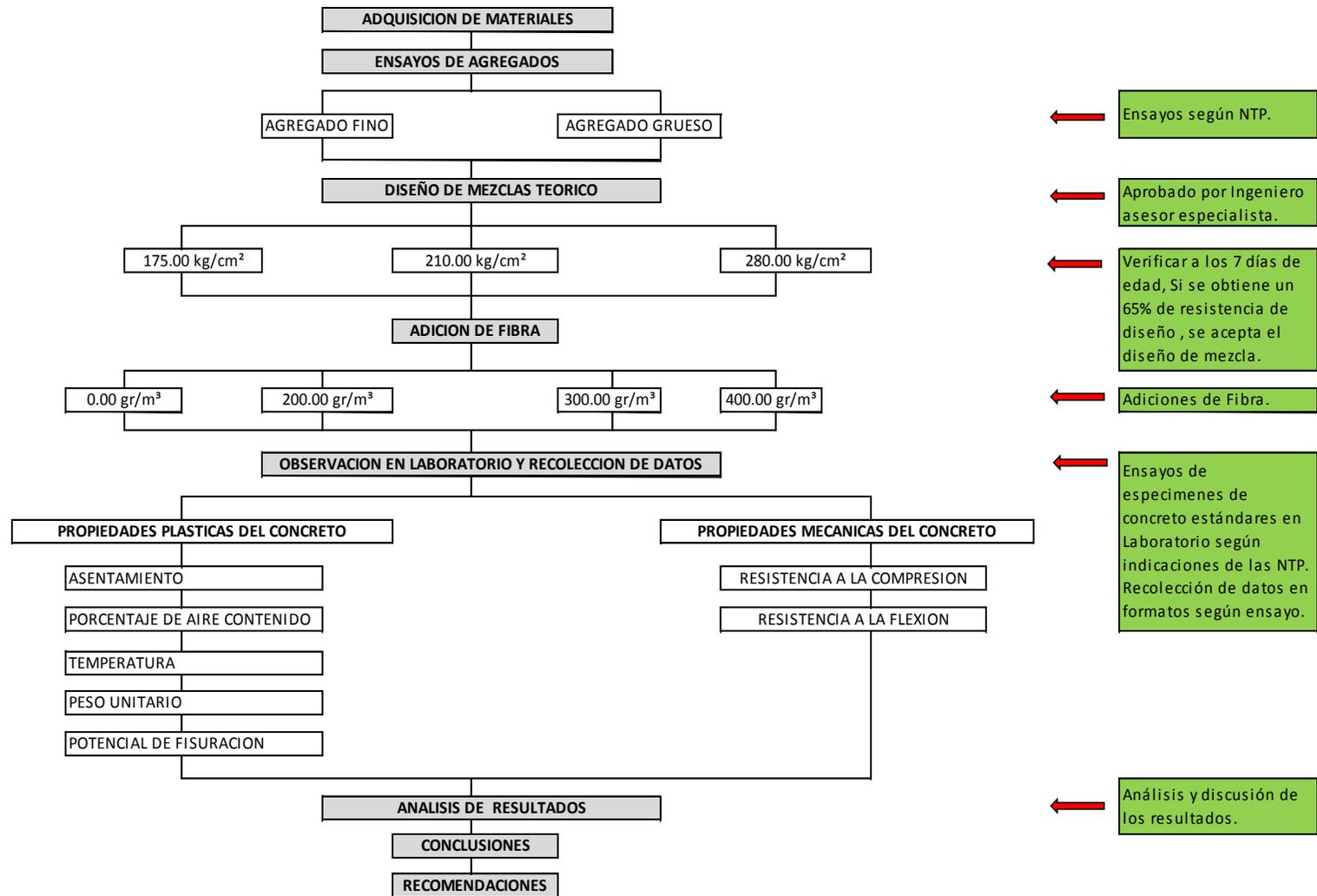


Figura 38: Diagrama Lógico de Procesos.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

3.8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Los datos recopilados de los ensayos realizados en laboratorio fueron analizados y discutidos según las investigaciones presentadas en los antecedentes de la presente investigación, concluyéndose el efecto de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico, los resultados de las propiedades mecánicas fueron analizados estadísticamente. Finalmente, producto del conocimiento obtenido sobre el tema en estudio, se presenta recomendaciones para futuras investigaciones sobre el tema.



Figura 39: Plan de análisis de datos.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

3.9. PRINCIPIOS ÉTICOS

Se evaluó los efectos que produce la adición de fibra de polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico. Los ensayos respectivos se realizaron en su totalidad en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Señor de Sipán, la recolección de datos fue a través de formatos estándares del laboratorio, respetando las exigencias de las Normas Técnicas Peruanas y Normas Internacionales ASTM, bajo supervisión y la aprobación del ingeniero asesor, el mismo que revisó la calidad de datos recogidos y la aprobación de los ensayos realizados. El procesamiento de datos será realizado bajo la supervisión del ingeniero asesor y el ingeniero metodólogo, quienes evaluaron y aceptaron la conformidad de los datos procesados obtenidos. La discusión, conclusiones y recomendaciones respecto al tema en estudio fueron realizadas en función a los resultados obtenidos. En las diferentes etapas del proceso de investigación se tuvo en cuenta las opiniones y observaciones hechas por el jurado de la investigación.

3.10. CRITERIOS DE RIGOR CIENTÍFICO

Validez; el diseño de mezclas y la ejecución de ensayos de los especímenes de concreto fueron realizados siguiendo las exigencias y recomendaciones de las Normas Técnicas Peruanas NTP y Normas Internacionales ASTM.

Generalizabilidad; los muestreos fueron ejecutados de acuerdo a Normas Técnicas Peruanas NTP, Normas Internacionales ASTM, y recomendaciones del asesor especialista y del profesional técnico del laboratorio.

Fiabilidad; los ensayos se realizaron en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Señor de Sipán, laboratorio que cuenta con equipos calibrados y certificados para tal actividad.

Replicabilidad; es posible realizar la misma investigación y obtener los mismos resultados siempre y cuando se mantenga constante los parámetros y materiales de diseño, ejecutándose los ensayos en equipos calibrados y certificados para tal fin, en una zona de características atmosféricas iguales a la de la zona del estudio. Esta investigación puede ser desarrollada por parte de las empresas patrocinadoras u otro investigador particular con fines de investigación.

CAPITULO IV:
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Análisis de los agregados

4.1.1.1. Análisis del agregado fino

Granulometría

El ensayo de granulometría del agregado fino se realizó teniendo en cuenta la NTP 400.012 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Se ensayó una muestra de 400 gr de agregado fino procedente de la cantera La Victoria, encontrándose un módulo de fineza de 2.92.

Tabla 16

Granulometría del agregado fino.

<i>Malla</i>	<i>Peso</i>	<i>%</i>	<i>% Retenido</i>	<i>% Que Pasa</i>	
<i>Pulg.</i>	<i>mm</i>	<i>Retenido</i>	<i>Retenido</i>	<i>Acumulado</i>	<i>Acumulado</i>
<i>3/8"</i>	9.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
<i>Nº4</i>	4.75	20.00	5.00%	5.00%	95.00%
<i>Nº8</i>	2.36	42.00	10.50%	15.50%	84.50%
<i>Nº16</i>	1.18	71.00	17.75%	33.25%	66.75%
<i>Nº30</i>	0.60	104.00	26.00%	59.25%	40.75%
<i>Nº50</i>	0.30	101.00	25.25%	84.50%	15.50%
<i>Nº100</i>	0.15	38.00	9.50%	94.00%	6.00%
<i>FONDO</i>		24.00	6.00%	100.00%	0.00%

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

$$\text{Módulo de fineza MF} = \frac{N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30+N^{\circ}50+N^{\circ}100}{100} \dots(9)$$

$$\text{Módulo de fineza MF} = \frac{5+15.5+33.25+59.25+84.5+94}{100}$$

$$\text{Módulo de fineza MF} = 2.92$$

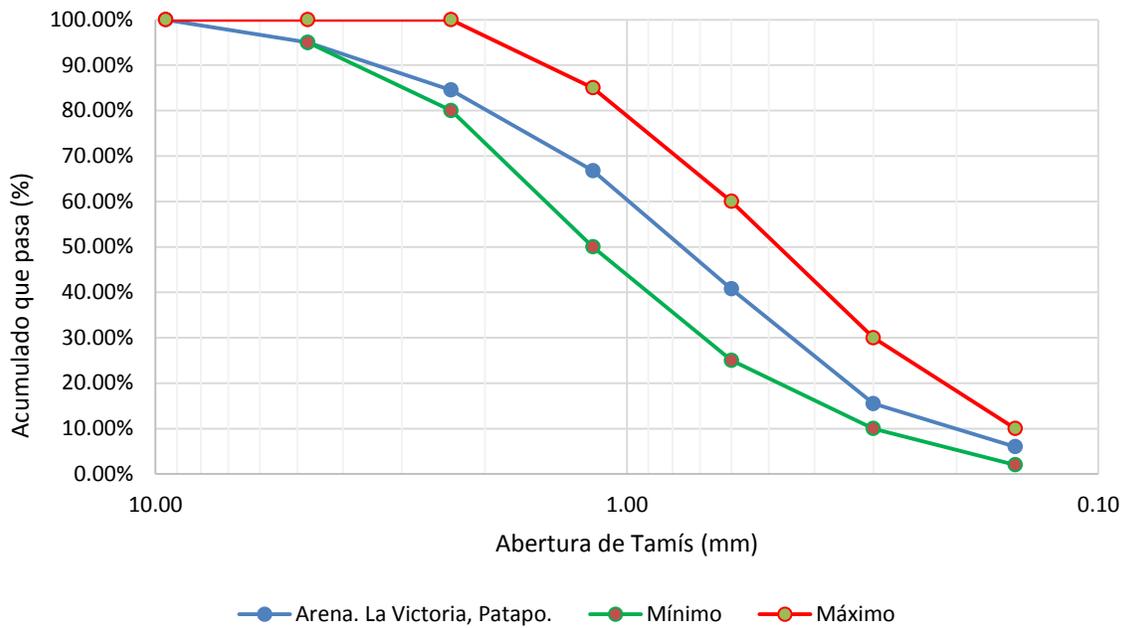


Figura 40: Curva granulométrica del agregado fino.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Figura 41: Tamices, N°3/8" hasta N°100 y depósito de fondo. Granulometría del agregado fino.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Peso unitario

El ensayo de peso unitario del agregado fino se realizó teniendo en cuenta la NTP 400.017 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.

Se utilizó un molde metálico de dimensiones, 153 mm de diámetro y 15 mm de altura.

Tabla 17

Peso Unitario del agregado fino

<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ensayo Nº01</i>	<i>Ensayo Nº02</i>
<i>Peso Unitario Suelto</i>			
<i>Peso de la muestra húmeda</i>	<i>gr</i>	4200	4150
<i>Volumen del molde</i>	<i>cm³</i>	2757.81	2757.81
<i>Peso unitario suelto húmedo</i>	<i>gr/cm³</i>	1.52	1.50
<i>Peso unitario suelto húmedo (Promedio)</i>	<i>gr/cm³</i>		1.51
<i>PESO UNIT. SUELTO SECO</i>	<i>gr/cm³</i>		1.50
<i>Peso Unitario Compactado</i>			
<i>Peso de la muestra húmeda</i>	<i>gr</i>	4519	4574
<i>Volumen del molde</i>	<i>cm³</i>	2757.81	2757.81
<i>Peso unitario suelto húmedo</i>	<i>gr/cm³</i>	1.64	1.66
<i>Peso unitario suelto húmedo (Promedio)</i>	<i>gr/cm³</i>		1.65
<i>PESO UNIT. COMPACTADO SECO</i>	<i>gr/cm³</i>		1.63

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

$$\text{Peso Unitario Suelto Húmedo} = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen del molde}} \dots(10)$$

$$\text{Peso Unitario Suelto Seco} = \frac{\frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen del molde}}}{(1+\% \text{ Contenido de Humedad})} \dots(11)$$

$$\text{Peso Unitario Compactado Seco} = \frac{\frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen del molde}}}{(1+\% \text{ Contenido de Humedad})} \dots(12)$$



Figura 42: Peso de la muestra húmeda. Cálculo del peso unitario del agregado fino.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Peso específico y absorción

El ensayo de peso específico y absorción del agregado fino se realizó teniendo en cuenta la NTP 400.022 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.

Tabla 18

Datos para el cálculo de peso específico y absorción del agregado fino.

A.- Datos de la muestra	Unidad	Ensayo N°01	Ensayo N°02
1.- Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca. PMSSS	gr	500.0	500.0
2.- Peso de la Muestra Saturada Superficialmente Seca + Peso frasco + Peso del agua.	gr	980.2	979.0
3.- Peso de la Muestra Saturada superficialmente Seca + Peso del frasco.	(1+5) gr	675.0	675.0
4.- Peso del Agua.	(2-3) gr	305.2	304.0
5.- Peso del Frasco	gr	175.0	175.0
6.- Peso de la Muestra secada a horno + Peso del frasco.	(5+7) gr	670.0	670.0
7.- Peso de la Muestra seca en el horno. PMSH	gr	495.0	495.0
8.- Volumen del frasco.	cm ³	500.0	500.0

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 19

Resultados del peso específico y absorción del agregado fino.

B.- Resultados de la muestra	Unidad	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Promedio
A.- Peso específico de la arena.	7/(8-4) gr/cm ³	2.541	2.526	2.533
B.- Peso específico de la masa s.s.s.	7/(7-4) gr/cm ³	2.608	2.592	2.600
C.- Peso específico aparente	7/((8-4)-(8-7)) gr/cm ³	2.608	2.592	2.600
D.- Porcentaje de absorción.	((1-7)/7)*100 %	1.01	1.01	1.01

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

$$\text{Peso Especifico de la arena (gr/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Peso de la muestra seca en el horno}}{\text{Volumen del frasco}-\text{Peso del agua}} \dots(13)$$

$$\text{Porcentaje de absorción (\%)} = \frac{\text{PMSSS}-\text{PMSH}}{\text{PMSH}} \times 100 \dots(14)$$



Figura 43: Muestra saturada superficialmente seca.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Contenido de humedad

El ensayo de contenido de humedad del agregado fino se realizó teniendo en cuenta la NTP 339.185 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

Tabla 20

Contenido de humedad del agregado fino.

CONTENIDO DE HUMEDAD	Unidad	Ensayo	Ensayo
		Nº01	Nº02
1.- <i>Peso de la muestra húmeda</i>	gr	906	952
2.- <i>Peso de la muestra seca</i>	gr	898	944
3.- <i>Contenido de Humedad</i>	%	0.89	0.85
4.- <i>Promedio</i>	%	0.87	

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{Peso Muestra seca}}{\text{Peso Muestra seca}} \times 100 \quad \dots(15)$$



Figura 44: Muestra de agregado fino secada en horno.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

4.1.1.2. Análisis del agregado grueso

Granulometría

El ensayo de granulometría del agregado grueso se realizó teniendo en cuenta la NTP 400.012 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Se ensayó una muestra de 4515 gr de agregado grueso procedente de la cantera Tres Tomas, encontrándose un módulo de fineza de 6.86.

Tabla 21*Granulometría del agregado grueso.*

Malla	Peso	%	% Retenido	% Que Pasa
Pulg.	mm	Retenido	Retenido	Acumulado.
2"	50.00	0.00	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.50	0.00	0.00%	100.00%
1"	25.00	0.00	0.00%	100.00%
3/4"	19.00	0.00	0.00%	100.00%
1/2"	12.50	2734.00	60.55%	39.45%
3/8"	9.50	1166.00	25.83%	13.62%
Nº4	4.75	605.00	13.40%	0.22%
FONDO		10.00	0.22%	100.00%

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

$$\text{Módulo de fineza MF} = \frac{1\frac{1}{2} + \frac{3}{4} + \frac{3}{8} + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100}{100} \dots(16)$$

$$\text{Módulo de fineza MF} = \frac{0+0+86.38+99.78+100+100+100+100+100}{100}$$

$$\text{Módulo de fineza MF} = 6.86$$

Tamaño máximo del agregado $\frac{3}{4}$ pulg.Tamaño máximo nominal $\frac{1}{2}$ pulg.

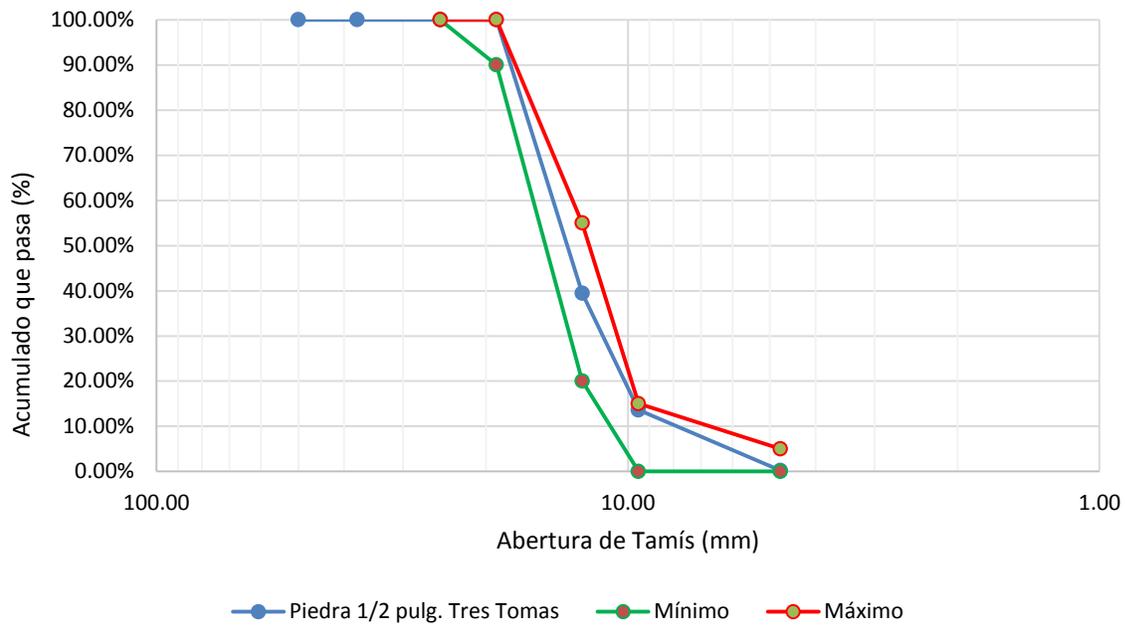


Figura 45: Curva granulométrica del agregado grueso.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Figura 46: Tamices, N°2 " hasta N°4 y depósito de fondo. Granulometría del agregado grueso.

Fuente: Elaboración Propia. 2016.

Peso unitario

El ensayo de peso unitario del agregado grueso se realizó teniendo en cuenta la NTP 400.017 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.

Se utilizó un molde metálico de dimensiones, 228 mm de diámetro y 230 mm de altura.

Tabla 22

Peso Unitario del agregado grueso

Descripción	Unidad	Ensayo Nº01	Ensayo Nº02
Peso Unitario Suelto			
<i>Peso de la muestra húmeda</i>	<i>gr</i>	<i>13161</i>	<i>13241</i>
<i>Volumen del molde</i>	<i>cm³</i>	<i>9390.47</i>	<i>9390.47</i>
<i>Peso unitario suelto húmedo</i>	<i>gr/cm³</i>	<i>1.40</i>	<i>1.41</i>
<i>Peso unitario suelto húmedo (Promedio)</i>	<i>gr/cm³</i>	<i>1.41</i>	
PESO UNIT. SUELTO SECO	<i>gr/cm³</i>	<i>1.405</i>	
Peso Unitario Compactado			
<i>Peso de la muestra húmeda</i>	<i>gr</i>	<i>14565</i>	<i>14650</i>
<i>Volumen del molde</i>	<i>cm³</i>	<i>9390.47</i>	<i>9390.47</i>
<i>Peso unitario suelto húmedo</i>	<i>gr/cm³</i>	<i>1.55</i>	<i>1.56</i>
<i>Peso unitario suelto húmedo (Promedio)</i>	<i>gr/cm³</i>	<i>1.56</i>	
PESO UNIT. COMPACTADO SECO	<i>gr/cm³</i>	<i>1.555</i>	

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

$$\text{Peso Unitario Suelto Húmedo} = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen del molde}} \dots(17)$$

$$\text{Peso Unitario Suelto Seco} = \frac{\frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen del molde}}}{(1+\% \text{ Contenido de Humedad})} \dots(18)$$

$$\text{Peso Unitario Compactado Seco} = \frac{\frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen del molde}}}{(1+\% \text{ Contenido de Humedad})} \dots(19)$$



Figura 47: Peso de la muestra húmeda. Cálculo del peso unitario del agregado grueso.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Peso específico y absorción

El ensayo de peso específico y absorción del agregado fino se realizó teniendo en cuenta la NTP 400.021:2002. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para espeso específico y absorción del agregado grueso.

Tabla 23

Datos para el cálculo de peso específico y absorción del agregado grueso.

A .- Datos de la grava	Unidad	Ensayo N°01	Ensayo N°02
1.- Peso de la muestra seca al horno. PMSH	gr	1231	712
2.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca. PMSSS	gr	1239	718
3.- Peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla	gr	1729	1403
4.- Peso de la canastilla	gr	945	950
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua. PMSA (3-4)	gr	784	453

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 24

Resultados del peso específico y absorción del agregado grueso.

B.- Resultados		Unidad	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Promedio
A.- Peso específico de la grava.	1/(2-5)	gr/cm ³	2.705	2.687	2.696
B.- Peso específico de la masa s.s.s.	2/(2-5)	gr/cm ³	2.723	2.709	2.716
C.- Peso específico aparente	1/(1-5)	gr/cm ³	2.754	2.749	2.751
D.- Porcentaje de absorción.	((2-1)/1)*100	%	0.65	0.84	0.75

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

$$\text{Peso Especifico de la grava (gr/cm}^3\text{)} = \frac{PMSH}{PMSSS-PMSA} \dots(20)$$

$$\text{Porcentaje de absorción (\%)} = \frac{PMSSS-PMSH}{PMSH} \times 100 \dots(21)$$



Figura 48: Equipo para ensayo de peso específico de agregado grueso.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Contenido de humedad

El ensayo de contenido de humedad del agregado grueso se realizó teniendo en cuenta la NTP 339.185 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

Tabla 25

Contenido de humedad del agregado grueso.

CONTENIDO DE HUMEDAD	Unidad	Ensayo N°01	Ensayo N°02
1.- Peso de la muestra húmeda	gr	673	750
2.- Peso de la muestra seca	gr	673	749
3.- Contenido de Humedad	%	0.00	0.13
4.- Promedio	%	0.07	

Fuente: Elaboración Propia.

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{Peso Muestra seca}}{\text{Peso Muestra seca}} \times 100 \quad \dots(22)$$



Figura 49: Muestra de agregado grueso secada en horno.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

4.1.1.3. Diseño de mezcla patrón o convencional

Se diseñó las mezclas patrón o convencional f'c 175, 210 y 280 kg/cm², la selección de las proporciones del concreto se realizó con el Método del Comité 211 del ACI.

Tabla 26

Resumen del análisis de agregados.

Propiedad	Norma	A. Fino	A. Grueso
Humedad Natural	NTP 339.185	0.87%	0.07%
Absorción	NTP 400.021 y NTP 400.022	1.01%	0.75%
Peso Específico de Masa	NTP 400.021 y NTP 400.022	2.53 gr/cm ³	2.70 gr/cm ³
Peso Unitario Varillado	NTP 400.017	1.63 gr/cm ³	1.55 gr/cm ³
Módulo de Fineza	NTP 400.012	2.92	6.86
Tamaño Máximo Nominal del Agregado	NTP 400.012	---	1/2"
Peso Unitario Suelto	NTP 400.017	1.50 gr/cm ³	1.40 gr/cm ³

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 27

Resumen del Diseño de Mezcla Patrón según resistencia.

Diseño de Mezcla Patrón	Slump, Pulg.	Cemento	Arena	Piedra 1/2"	Agua, lt	Factor Cemento, bls/m ³
175.00 kg/cm²						
Peso	3 a 4	1	2.54	2.73	31.88	7.98
Arena 48%						
Piedra 1/2" 52%						
R a/c 0.75	Volumen	3 a 4	1	2.54	31.88	7.98
210.00 kg/cm²						
Peso	3 a 4	1	2.32	2.53	28.90	8.57
Arena 48%						
Piedra 1/2" 52%						
R a/c 0.68	Volumen	3 a 4	1	2.32	28.90	8.57
280.00 kg/cm²						
Peso	3 a 4	1	1.84	1.98	24.23	10.40
Arena 48%						
Piedra 1/2" 52%						
R a/c 0.57	Volumen	3 a 4	1	1.84	24.23	10.40

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

4.1.2. Propiedades Plásticas del Concreto

4.1.2.1. Asentamiento

El diseño de mezcla patrón de 175 kg/cm² tuvo un Slump de 4.00 pulg., reduciéndose a 3.15, 2.36 y 2.00 pulgadas (disminuciones del 21%, 41% y hasta el 50% del Slump de diseño), al adicionarse fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina en dosis de 200, 300 y 400 gr/m³ respectivamente.

El diseño de mezcla patrón de 210 kg/cm² tuvo un Slump de 3.80 pulg., reduciéndose a 2.91, 2.17 y 1.77 pulgadas (disminuciones del 23%, 43% y hasta el 53% del Slump de diseño), al adicionarse fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina en dosis de 200, 300 y 400 gr/m³ respectivamente.

El diseño de mezcla patrón de 280 kg/cm² tuvo un Slump de 3.80 pulg., reduciéndose a 2.80, 2.05 y 1.69 pulgadas (disminuciones del 25%, 45% y hasta el 55% del Slump de diseño), al adicionarse fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina en dosis de 200, 300 y 400 gr/m³ respectivamente.

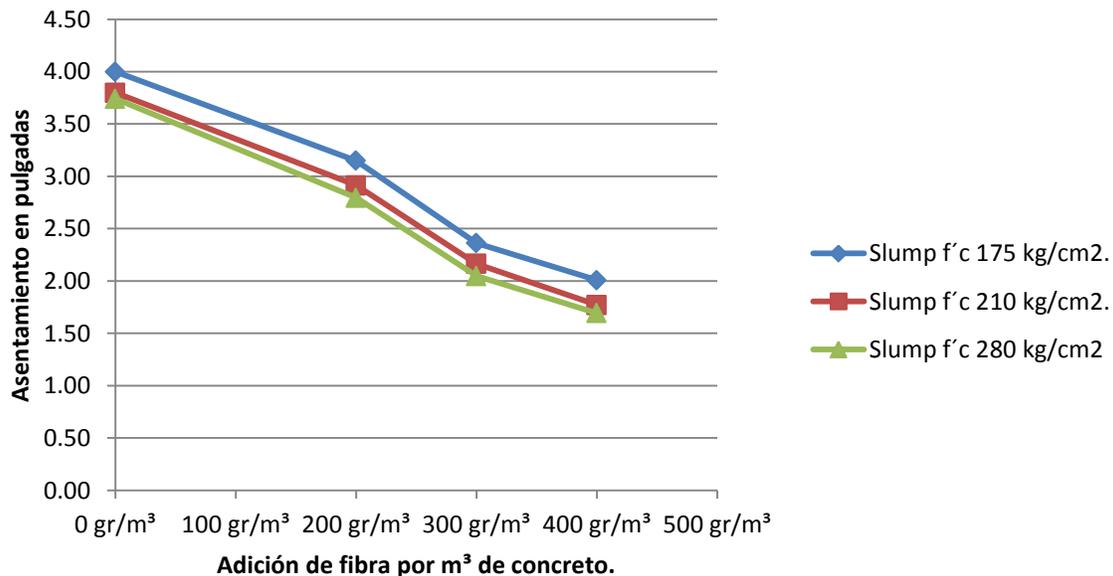


Figura 50: Asentamiento por diseño de mezcla y adición de fibra.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

El ensayo de asentamiento del concreto fresco se realizó según NTP 339.035 CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto con el cono de Abrams.

Se observó que la trabajabilidad del concreto disminuye al aumentar la dosis de fibra de polipropileno así como también lo hace cuando se disminuye la relación agua cemento. El Slump depende principalmente de la absorción de agua y porosidad de los agregados, contenido de agua, cantidad de agregados finos y grueso, forma y superficie de los agregados, por lo que no podría ser suficiente la adición de un súper plastificante, sino además podría ser necesario modificar el proporcionamiento de la mezcla para conseguir una adecuada trabajabilidad.

4.1.2.2. Contenido de aire

El ensayo de contenido de aire del concreto fresco se realizó según NTP 339.080. HORMIGON (CONCRETO). Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas. Ensayo tipo hidráulico

El diseño de mezcla patrón de 175 kg/cm² tuvo un contenido de aire de 2.20%, reduciéndose a 1.98, 1.80 y 1.60% (disminuciones del 10%, 18% y hasta el 27% del contenido de aire de la mezcla patrón de diseño), al adicionarse fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina en dosis de 200, 300 y 400 gr/m³ respectivamente.

El diseño de mezcla patrón de 210 kg/cm² tuvo un contenido de aire de 2.00%, reduciéndose a 1.80, 1.60 y 1.45% (disminuciones del 10%, 20% y hasta el 28% del contenido de aire de la mezcla patrón de diseño), al adicionarse fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina en dosis de 200, 300 y 400 gr/m³ respectivamente.

El diseño de mezcla patrón de 280 kg/cm² tuvo un contenido de aire de 1.60%, reduciéndose a 1.45, 1.30 y 1.15% (disminuciones del 9%, 19% y hasta el 28% del contenido de aire de la mezcla patrón de diseño), al adicionarse fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina en dosis de 200, 300 y 400 gr/m³ respectivamente.

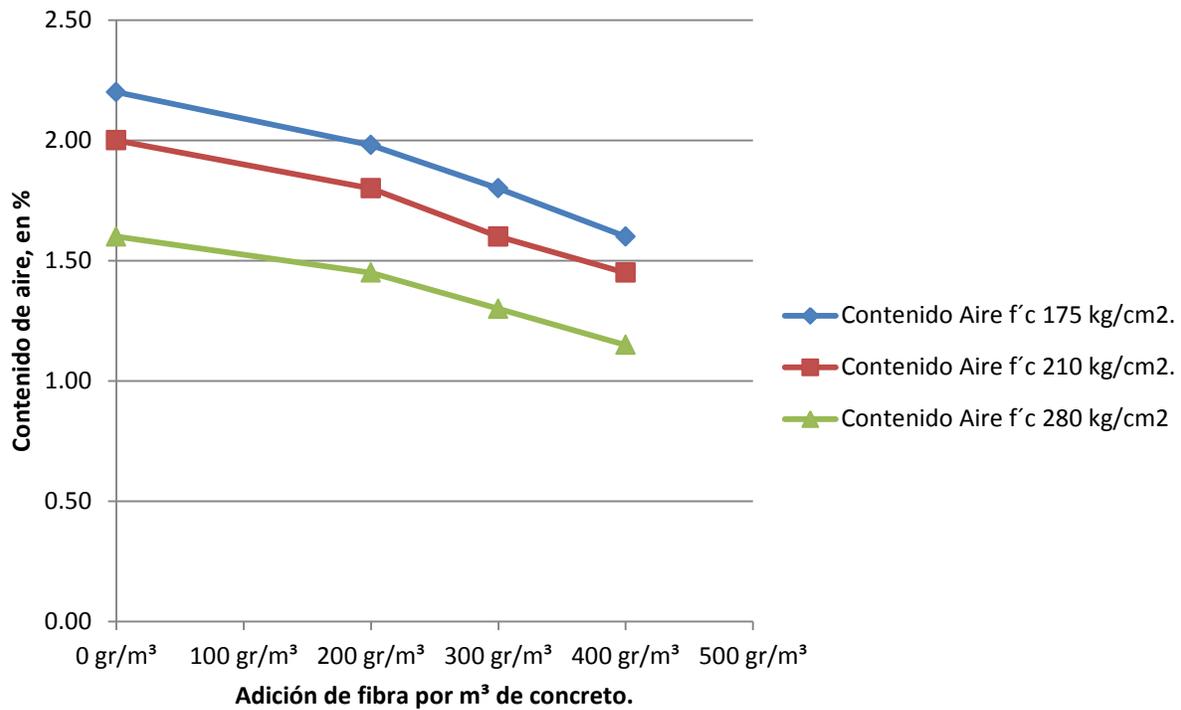


Figura 51: Contenido de aire por diseño de mezcla y adición de fibra.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

4.1.2.3. Temperatura

El ensayo de temperatura del concreto se realizó según NTP 339.184:2013. HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto).

La adición de fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina en dosis de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto para los diseños de mezclas de 175, 210 y 280 kg/cm², no afecta la temperatura del concreto, obteniéndose temperaturas del concreto que van desde los 26 °C hasta los 28°C.

4.1.2.4. Peso unitario

El ensayo de Peso unitario del concreto fresco se realizó según NTP 339.046 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).

La adición de fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina en dosis de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto no afecta el peso unitario, pero se observa un aumento conforme se incrementa la resistencia a la compresión, aproximadamente, para la resistencia, 175 kg/cm² se tiene 2339.40 kg/m³, 210 kg/cm² se tiene 2359.59 kg/m³ y para 280 kg/cm² se tiene 2373.36 kg/m³.

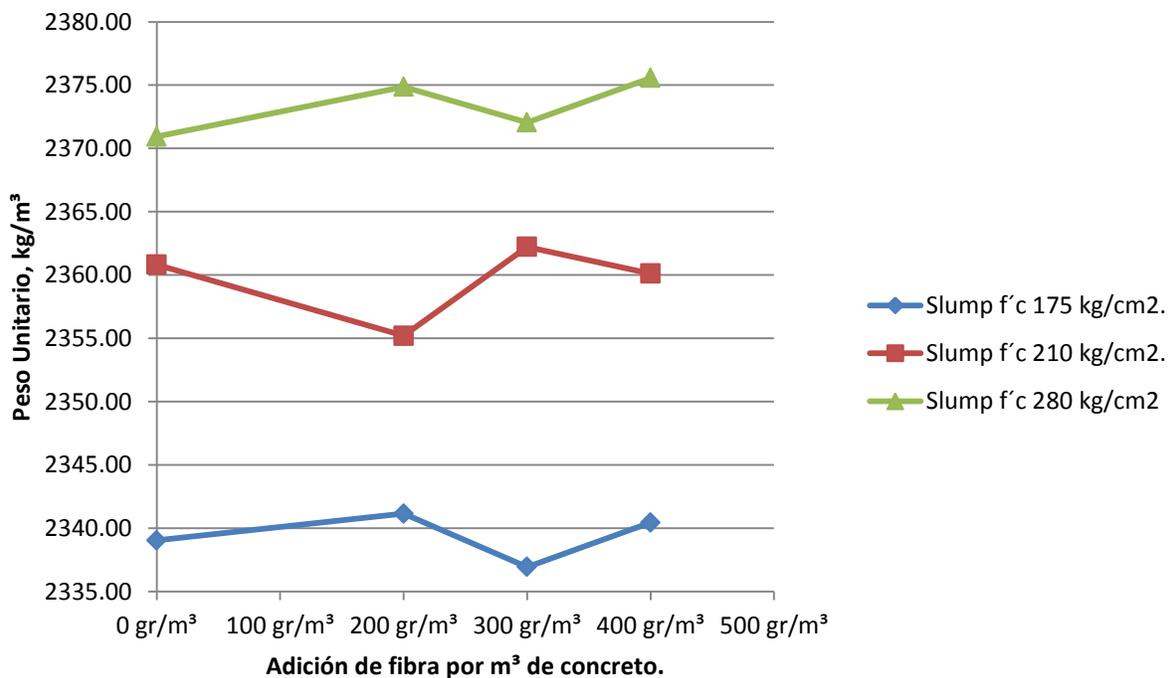


Figura 52: Peso Unitario por diseño de mezcla y adición de fibra.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

4.1.2.5. Potencial de fisuración

El ensayo de potencial de fisuración por contracción plástica se realizó según Norma Internacional ASTM C1579 – 12 Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete. 12 losas de concreto fueron colocadas en el túnel de viento, ambiente que se mantuvo una temperatura interior constante de 30°C, con la finalidad de obtener tasas de evaporación mayores o iguales a 1.5 lt/m²/h, que es el valor el cual supone un alto riesgo de fisuración.

Adicionalmente se realizaron 6 ensayos de fisuración por contracción plástica en condiciones ambientales reales, para corroborar la selección de la dosis de fibra que logre reducir la fisuración por contracción plástica.

Tabla 28

Relación de reducción de fisuración CCR según resistencia a la compresión del concreto y dosis de fibra de polipropileno, ensayos en túnel de viento.

Mezcla	Dosis	Primera fisura	Ancho promedio de fisura, mm	CRR, %	Tasa Evaporación, kg/m ² /h
175.00 kg/cm ²	0.00 gr/m ³	1 hr 25 min	2.00	0.00	≥ 1.5
	200.00 gr/m ³	2 hr 30 min	1.20	40.00	≥ 1.5
	300.00 gr/m ³	2 hr 55 min	0.90	55.00	≥ 1.5
	400.00 gr/m ³	3 hr 10 min	0.70	65.00	≥ 1.5
210.00 kg/cm ²	0.00 gr/m ³	1 hr 20 min	1.80	0.00	≥ 1.5
	200.00 gr/m ³	2 hr 15 min	1.00	44.44	≥ 1.5
	300.00 gr/m ³	2 hr 45 min	0.80	55.56	≥ 1.5
	400.00 gr/m ³	3 hr 0 min	0.60	66.67	≥ 1.5
280.00 kg/cm ²	0.00 gr/m ³	1 hr 0 min	1.70	0.00	≥ 1.5
	200.00 gr/m ³	2 hr 10 min	0.90	47.06	≥ 1.5
	300.00 gr/m ³	2 hr 50 min	0.70	58.82	≥ 1.5
	400.00 gr/m ³	3 hr 35 min	0.60	64.71	≥ 1.5

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Para los tres diseños de mezcla 175, 210 y 280 kg/cm² se observó que la adición de fibra de polipropileno en una dosis de 400 gr/m³ logra inhibir la fisuración por hasta en un 65% aproximadamente, según resultados obtenidos en el túnel de viento.

Tabla 29

Relación de reducción de fisuración CCR según resistencia a la compresión del concreto y dosis de fibra de polipropileno. Ensayos en condiciones ambientales reales.

Mezcla	Dosis	Temperatura del concreto, °C	Primera fisura	Eso, KPa	Esa, KPa	Ancho promedio de fisura, mm	CRR, %	Tasa Evaporación, kg/m ² /h
175.00	0.00 gr/m ³	26.40	3 hr 45 min	3.44758	2.93475	1.40	0.00	0.58
kg/cm ²	400.00 gr/m ³	26.60	5 hr 30 min	3.48849	2.93475	0.10	92.86	0.60
210.00	0.00 gr/m ³	26.80	3 hr 30 min	3.52983	2.93475	1.10	0.00	0.62
kg/cm ²	400.00 gr/m ³	27.00	5 hr 15 min	3.57160	2.93475	0.10	90.91	0.64
280.00	0.00 gr/m ³	26.75	3 hr 30 min	3.51946	2.93475	1.00	0.00	0.61
kg/cm ²	400.00 gr/m ³	26.80	5 hr 10 min	3.52983	2.93475	0.10	90.00	0.62

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 30

Parámetros atmosféricos promedios del Mes de Abril en Chiclayo. Estación C.O. Reque.

Parámetro	Valor
Temperatura promedio	23.70 °C
Humedad relativa promedio	82.00 %
Velocidad del viento promedio	25.20 Kph

Fuente: SENAMHI, 2016.

Para los tres diseños de mezcla 175, 210 y 280 kg/cm² se observó que la adición de fibra de polipropileno en una dosis de 400 gr/m³ logra inhibir la fisuración por hasta en un 90% aproximadamente, según resultados obtenidos en condiciones ambientales reales.

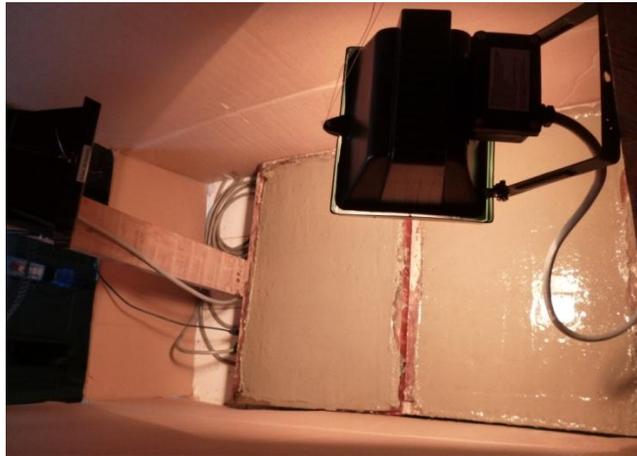


Figura 53: Muestras $f'c$ 280 kg/cm² con adiciones de fibra de polipropileno de 0 y 200 gr/m³ en túnel de viento. Medición del Potencial de fisuración.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Figura 54: Medición del ancho de fisuras en muestras $f'c$ 280 kg/cm² con adiciones de fibra de polipropileno de 0 y 200 gr/m³ en túnel de viento. Medición del Potencial de fisuración.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Figura 55: Equipo de medición de ancho de fisuras, fisurómetro y comparador de fisuras. Medición del Potencial de fisuración.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Figura 56: Vista de la medición del ancho de fisura a través del fisurómetro . Medición del Potencial de fisuración

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

4.1.3. Propiedades Mecánicas del Concreto

4.1.3.1. Resistencia a la compresión

El ensayo de resistencia a la compresión para los especímenes elaborados se realizó según NTP 339.034 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto.

Para el diseño de mezcla de teórico 175 kg/cm², se observó de las 36 probetas ensayadas, que al adicionar fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina en dosis de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto se obtuvo a los 28 días un incremento a la resistencia a la compresión de 0.81, 2.63 y 2.97%, respectivamente, respecto a la resistencia patrón real 181.82 kg/cm².

Tabla 31

Porcentaje de incremento en la Resistencia a la compresión del concreto $f'c$ 175 kg/cm² con adiciones de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto a edad de 28 días. Curado con agua.

Dosis Fibra	$f'c$ 28 días	% Incremento de Resistencia
0 gr/m ³	181.82	0.00%
200 gr/m ³	183.29	0.81%
300 gr/m ³	186.60	2.63%
400 gr/m ³	187.23	2.97%

Fuente: Elaboración propia, 2016.

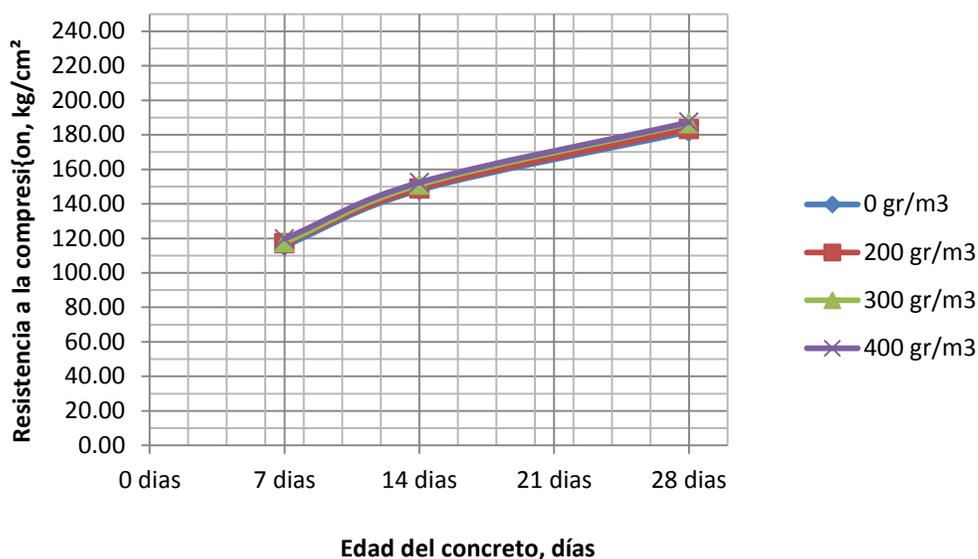


Figura 57: Resistencia a la compresión para el diseño de mezcla teórico 175 kg/cm² con adición de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto, a edades de 7, 14 y 28 días. Curado con agua.

Fuente: Elaboración propia, 2016.

Para el diseño de mezcla teórico de 210 kg/c m², se observó de las 36 probetas ensayadas, que al adicionar fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina en dosis de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto se obtuvo a los 28 días un incremento a la resistencia a la compresión de 0.86, 2.73 y 3.03%, respectivamente, de la resistencia patrón real 209.95 kg/cm².

Tabla 32

Porcentaje de incremento en la Resistencia a la compresión de concreto f'c 210 kg/cm² con adiciones de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto a edad de 28 días. Curado con agua.

Dosis Fibra	f'c 28 días	% Incremento de la resistencia
0.00 gr/m ³	209.95	0.00%
200.00 gr/m ³	211.75	0.86%
300.00 gr/m ³	215.68	2.73%
400.00 gr/m ³	216.31	3.03%

Fuente; Elaboración propia, 2016.

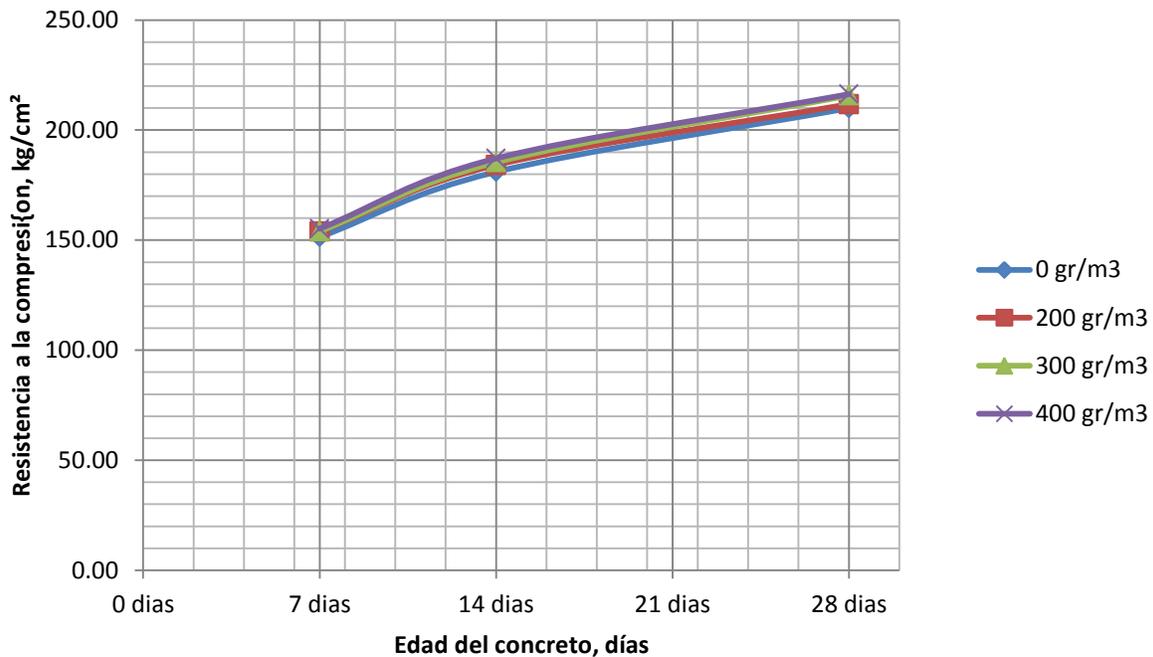


Figura 58: Resistencia a la compresión para el diseño de mezcla teórico 210 kg/cm² con adición de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto, a edades de 7, 14 y 28 días. Curado con agua.

Fuente; Elaboración propia, 2016.

Para el diseño de mezcla teórico de 280 kg/cm², se observó de las 36 probetas ensayadas, que al adicionar fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina en dosis de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto se obtuvo a los 28 días un incremento a la resistencia a la compresión de 0.96, 2,71 y 3.05% de la resistencia patrón real 298.82 kg/cm² respectivamente.

Tabla 33

Porcentaje de incremento en la Resistencia a la compresión de concreto f'c 280 kg/cm² con adiciones de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto a edad de 28 días. Curado con agua.

Dosis Fibra	f'c 28 días	% Incremento de la resistencia
0.00 gr/m ³	298.82	0.00%
200.00 gr/m ³	301.68	0.96%
300.00 gr/m ³	306.93	2.71%
400.00 gr/m ³	307.93	3.05%

Fuente; Elaboración propia, 2016.

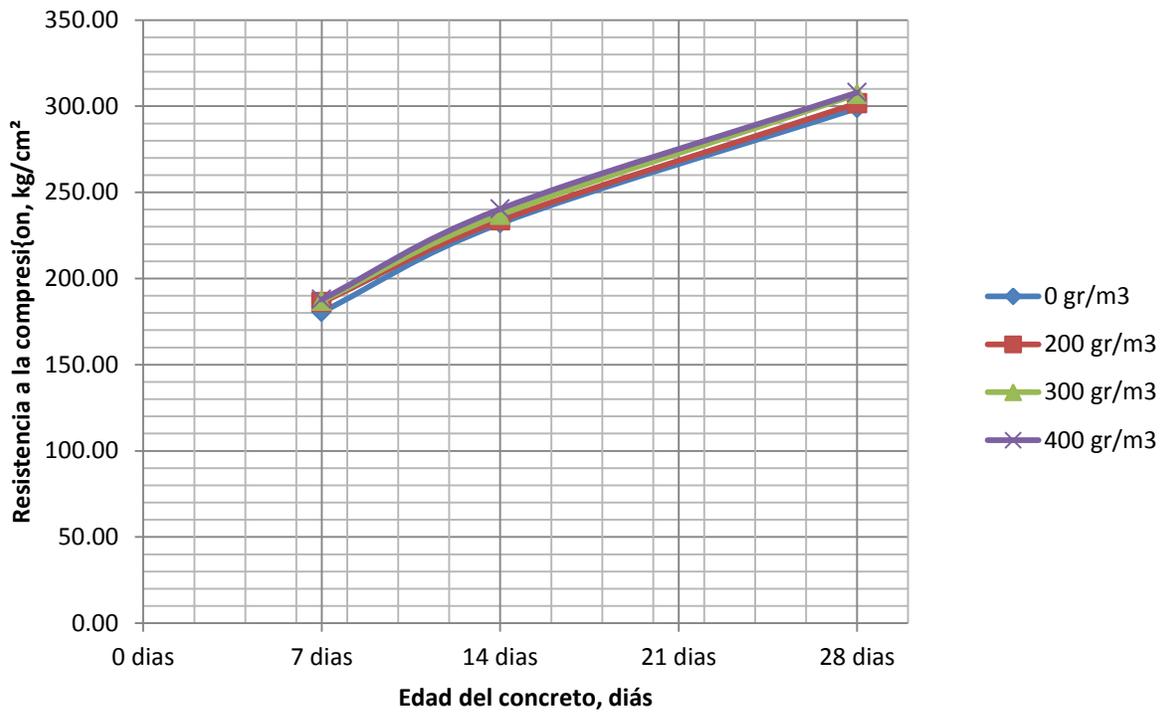


Figura 59: Resistencia a la compresión para el diseño de mezcla teórico 280 kg/cm² con adición de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto, a edades de 7, 14 y 28 días. Curado con agua.

Fuente; Elaboración propia, 2016.

Adicionalmente con fines de comparar el método de curado, se ensayaron 36 probetas que fueron curadas con aditivo Membranil Reforzado, a los 28 días el concreto adicionado con fibra de polipropileno en dosis de 0, 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto solo alcanzaron el 65.49, 65.95, 66.37 y 66.79% respectivamente de la resistencia patrón real de 298.92 kg/cm² curado con agua.

Tabla 34

Resumen Resistencia a la compresión de concreto $f'c$ 280 kg/cm² con adiciones de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto, a edades de 7, 14 y 28 días. Curado con Agua y Membranil Reforzado.

Edad / Dosis fibra	0.00 gr/m ³		200.00 gr/m ³		300.00 gr/m ³		400.00 gr/m ³	
	A	M	A	M	A	M	A	M
7 días	180.52	137.36	186.17	139.32	186.98	141.30	187.85	142.85
14 días	231.96	172.75	233.66	174.46	236.91	178.37	240.32	181.55
28 días	298.82	195.69	301.68	197.07	306.93	198.34	307.93	199.59

Nota: A: agua. M: Membranil Reforzado.

Fuente: Elaboración propia.

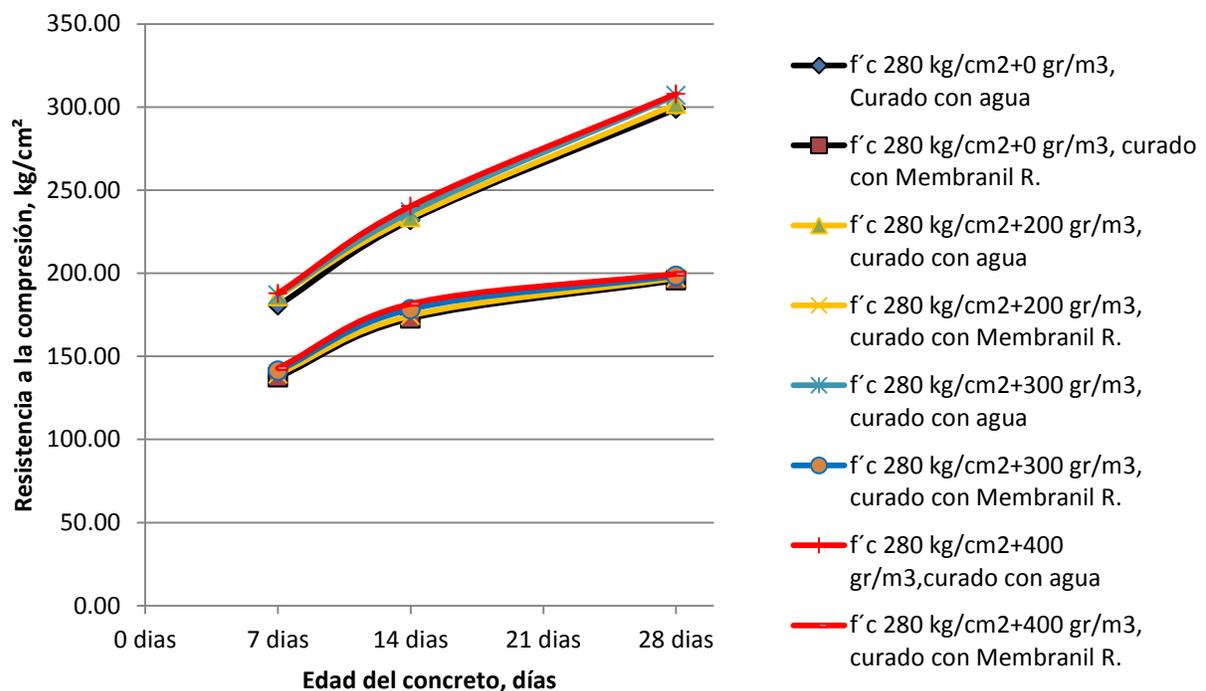


Figura 60: Resumen Resistencia a la compresión para el diseño 280 kg/cm² con adición de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto, a edades de 7, 14 y 28 días. Curado Agua y con Membranil Reforzado.

Fuente: Elaboración propia, 2016.



Figura 61: Modo de fractura de las probetas, $f'c$ 280 kg/cm² con adición fibra en 0, 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto, de izquierda a derecha respectivamente. Las probetas patrón fallaron de manera frágil identificando un modo de fractura Tipo 1, la adición de fibras en el concreto hace que éstas no fallen de manera frágil. identificándose un modo de fractura Tipo 5, las probetas con dosis de fibra 300 y 400 gr/m³ de concreto después de fallar a la rotura, evitaron el desprendimiento de sus componentes.

Fuente; Elaboración propia, 2016.



Figura 62: Modo de fractura de una probeta patrón $f'c$ 280 kg/cm². Fractura frágil Tipo 1.

Fuente; Elaboración propia, 2016.

4.1.3.2. Resistencia a la flexión

El ensayo de resistencia a la flexión para los especímenes elaborados se realizó según NTP 339.078 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto e vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.

De los resultado se observó que la el módulo de rotura a flexión del concreto patrón es aproximadamente el 20% de la resistencia a la compresión de los diseños de mezcla 175, 210 y 280 kg/cm².

La adición de fibra de polipropileno en el concreto hidráulico genera un incremento aproximado de 14% del módulo de rotura a flexión cuando se utiliza una dosis de fibra de polipropileno de 400 gr/m³ de concreto.

Tabla 35

Módulo de rotura a flexión según resistencia y dosis de adición de fibra de polipropileno.

Resistencia a la compresión f'c	Dosis de fibra	Carga P, Kg	Sección Viga		Luz entre apoyos L, cm	Módulo Rotura por flexión MR, Kg/cm ²	Incremento %
			Base b, cm	Peralte d, cm			
175.00 kg/cm ²	0.00 gr/m ³	2550.50	15.24	15.24	48.34	34.83	100.00
	200.00 gr/m ³	2670.73	15.24	15.24	48.34	36.47	104.71
	300.00 gr/m ³	2790.50	15.24	15.24	48.34	38.11	109.41
	400.00 gr/m ³	2890.55	15.24	15.24	48.34	39.48	113.33
210.00 kg/cm ²	0.00 gr/m ³	3050.52	15.24	15.24	48.34	41.66	100.00
	200.00 gr/m ³	3180.20	15.24	15.24	48.34	43.43	104.25
	300.00 gr/m ³	3360.63	15.24	15.24	48.34	45.90	110.17
	400.00 gr/m ³	3480.55	15.24	15.24	48.34	47.53	114.10
280.00 kg/cm ²	0.00 gr/m ³	4100.36	15.24	15.24	48.34	56.00	100.00
	200.00 gr/m ³	4322.37	15.24	15.24	48.34	59.03	105.41
	300.00 gr/m ³	4490.00	15.24	15.24	48.34	61.32	109.50
	400.00 gr/m ³	4690.69	15.24	15.24	48.34	64.06	114.40

Fuente: Elaboración Propia, 2006.

4.1.4. Contrastación de hipótesis

4.1.4.1. Contraste de hipótesis resistencia a la compresión.

Hipótesis nula $H_0: \mu_{Cp} - \mu_{Cf} = 0$. No es significativo el aporte de la adición de la fibra de polipropileno en la resistencia a la compresión del concreto hidráulico.

Hipótesis alterna $H_a: \mu_{Cp} - \mu_{Cf} < 0$. Si es significativo el aporte de la adición de la fibra de polipropileno en la resistencia a la compresión del concreto hidráulico.

Tabla 36

Contraste de hipótesis resistencia a la compresión 175 kg/cm².

N° Ensayo	Edad	Resistencia a la compresión 175 kg/cm ² , Concreto Hidráulico,			
		Patrón	200 gr/m ³	300 gr/m ³	400 gr/m ³
1	28	177.92	183.24	186.80	190.23
2	28	182.82	181.27	189.34	184.55
3	28	184.72	185.36	183.65	186.90
Parámetros estadísticos					
Media		181.82	183.29	186.60	187.23
Nivel de significancia		0.05	0.05	0.05	0.05
Varianza		12.3100	4.1839	8.1250	8.1456
Factor r			3.22	3.84	3.84
Factor t			-2.300	-2.170	-2.170
Estadístico de prueba			-0.63	-1.83	-2.07
Conclusión			Se acepta H_0	Se acepta H_0	Se acepta H_0

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 37

Contraste de hipótesis resistencia a la compresión 210 kg/cm².

N° Ensayo	Edad	Resistencia a la compresión 210 kg/cm ² , Concreto Hidráulico,			
		Patrón	200 gr/m ³	300 gr/m ³	400 gr/m ³
1	28	206.00	211.70	215.88	220.31
2	28	210.90	209.73	218.72	212.80
3	28	212.95	213.82	212.43	215.81
Parámetros estadísticos					
Media		209.95	211.75	215.68	216.31
Nivel de significancia		0.05	0.05	0.05	0.05
Varianza		12.7525	4.1839	9.9220	14.2850
Factor r			3.18	3.94	3.99
Factor t			-2.310	-2.150	-2.130
Estadístico de prueba			-0.76	-2.08	-2.12
Conclusión			Se acepta Ho	Se acepta Ho	Se acepta Ho

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 38

Contraste de hipótesis resistencia a la compresión 280 kg/cm².

N° Ensayo	Edad	Resistencia a la compresión 280 kg/cm ² , Concreto Hidráulico,			
		Patrón	200 gr/m ³	300 gr/m ³	400 gr/m ³
1	28	295.12	301.63	305.92	314.78
2	28	299.52	299.66	312.85	306.43
3	28	301.81	303.75	302.00	302.58
Parámetros estadísticos					
Media		298.82	301.68	306.92	307.93
Nivel de significancia		0.05	0.05	0.05	0.05
Varianza		11.5600	4.1839	30.1856	38.8975
Factor r			3.28	3.34	3.09
Factor t			-2.290	-2.280	-2.330
Estadístico de prueba			-1.25	-2.17	-2.22
Conclusión			Se acepta Ho	Se acepta Ho	Se acepta Ho

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

A un 95% de confianza se estima que no es significativo el aporte de la adición de la fibra de polipropileno en la resistencia a la compresión del concreto hidráulico.

4.1.4.2. Contraste de hipótesis resistencia a la flexión.

Hipótesis nula $H_0: \mu_{Cp} - \mu_{Cf} = 0$. No es significativo el aporte de la adición de la fibra de polipropileno en la resistencia a la flexión del concreto hidráulico.

Hipótesis alterna $H_a: \mu_{Cp} - \mu_{Cf} < 0$. Si es significativo el aporte de la adición de la fibra de polipropileno en la resistencia a la flexión del concreto hidráulico.

Tabla 39

Contraste de hipótesis resistencia a la flexión 175 kg/cm².

N° Ensayo	Edad	Resistencia a la flexión 175 kg/cm ² , Concreto Hidráulico,			
		Patrón	200 gr/m ³	300 gr/m ³	400 gr/m ³
1	28	34.90	37.21	37.45	40.32
2	28	33.84	35.68	39.63	39.42
3	28	35.76	36.51	37.26	38.70
Parámetros estadísticos					
Media		34.83	36.47	38.11	39.48
Nivel de significancia		0.05	0.05	0.05	0.05
Varianza		0.9249	0.5866	1.7342	0.6588
Factor r			3.81	3.66	3.89
Factor t			-2.170	-2.210	-2.160
Estadístico de prueba			-2.30	-3.48	-6.40
Conclusión			Se acepta H_a	Se acepta H_a	Se acepta H_a

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 40*Contraste de hipótesis resistencia a la flexión 210 kg/cm².*

N° Ensayo	Edad	Resistencia a la flexión 210 kg/cm ² , Concreto			
		Patrón	Hidráulico,		
			200 gr/m ³	300 gr/m ³	400 gr/m ³
1	28	41.46	43.43	46.52	48.24
2	28	41.42	42.90	45.67	47.23
3	28	42.10	43.95	45.51	47.12
Parámetros estadísticos					
Media		41.66	43.43	45.90	47.53
Nivel de significancia		0.05	0.05	0.05	0.05
Varianza		0.1456	0.2756	0.2947	0.3811
Factor r			3.65	3.59	3.33
Factor t			-2.210	-2.220	-2.280
Estadístico de prueba			-4.71	-11.07	-14.01
Conclusión			Se acepta Ha	Se acepta Ha	Se acepta Ha

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

Tabla 41*Contraste de hipótesis resistencia a la flexión 280 kg/cm².*

N° Ensayo	Edad	Resistencia a la flexión 280 kg/cm ² , Concreto			
		Patrón	Hidráulico,		
			200 gr/m ³	300 gr/m ³	400 gr/m ³
1	28	56.44	60.51	60.41	63.29
2	28	56.23	57.75	62.22	63.99
3	28	55.34	58.84	61.33	64.89
Parámetros estadísticos					
Media		56.00	59.03	61.32	64.06
Nivel de significancia		0.05	0.05	0.05	0.05
Varianza		0.3410	1.9324	0.8191	0.6433
Factor r			2.68	3.42	3.66
Factor t			-2.530	-2.260	-2.210
Estadístico de prueba			-3.48	-8.55	-14.06
Conclusión			Se acepta Ha	Se acepta Ha	Se acepta Ha

Fuente: Elaboración Propia, 2016.

A un 95% de confianza se estima que si es significativo el aporte de la adición de la fibra de polipropileno en la resistencia a la flexión del concreto hidráulico.

4.2. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.2.4. Propiedades Plásticas del Concreto

4.2.4.2. Asentamiento

El ensayo de asentamiento ha sido realizado según NTP 339.035 CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto con el cono de Abrams.

Respecto a los resultados obtenidos del asentamiento, se tiene que este disminuye al incorporar fibra de polipropileno en el concreto y continua disminuyendo cuando se incrementa la dosis de fibra, para dosis de 400 gr/m³ el asentamiento se redujo en más del 50% para los tres diseños, 175, 210 y 280 kg/cm².

Otros resultados comparables de otras investigaciones reportan también disminución del asentamiento cuando se incrementa la adición de fibra de polipropileno, los investigadores Kolli Ramujee. (2013), Milind, V. (2015), Dávila, M. (2010), López, J. (2015), López, J. (2014), Rojas, H. (2009), García, P. (2007), Vidad, J. (2006) y Tello, A. (2008), demostraron en sus investigaciones que la adición de fibra de polipropileno reduce significativamente el asentamiento, llegando en algunos casos a utilizarse un aditivo superplastificante para recuperar la trabajabilidad del concreto.

4.2.4.3. Contenido de aire

El ensayo de contenido de aire ha sido realizado según NTP 339.080. HORMIGON (CONCRETO). Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas. Ensayo tipo hidráulico.

Respecto a los resultados obtenidos del contenido de aire, se tiene que este disminuye al incorporar fibra de polipropileno en el concreto y continua disminuyendo cuando se incrementa la dosis de fibra, para dosis de 400 gr/m³ el contenido de aire se redujo en más del 25% para los tres diseños, 175, 210 y 280 kg/cm².

Dávila, M. (2014) y López, J. (2014) afirman que no existe una tendencia de aporte significativo de la fibra de polipropileno sobre el contenido de aire. Mientas que Rojas, H. (2009) concluye que el contenido de aire aumenta ligeramente a medida que la dosificación de fibra va aumentando debido a que la fibra forma una red interna atrapando más aire.

4.2.4.4. Temperatura

El ensayo de temperatura ha sido realizado según NTP 339.184:2013. HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto).

La adición de fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina en dosis de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto para los diseños de mezclas de 175, 210 y 280 kg/cm², no afecta la temperatura del concreto, obteniéndose temperaturas del concreto que van desde los 26 °C hasta los 28°C.

López, J. (2014), concluye que no existe variación en la temperatura por adición de fibra de polipropileno al concreto. Cabe resaltar que de las investigaciones mencionadas en los antecedentes solo el autor mencionado realizó ensayos de temperatura al concreto en estado plástico.

4.2.4.5. Peso unitario

El ensayo de peso unitario ha sido realizado según NTP 339.046 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).

La adición de fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina en dosis de 200, 300 y 400 gr/m³ de concreto no afecta el peso unitario.

Dávila, M. (2014) y López, J. (2015) concluyen que la adición de fibra de polipropileno no causa efecto alguno en el peso unitario del concreto. Mientas que

Rojas, H. (2009) y García, P. (2007) demostraron que la adición de fibra de polipropileno en el peso unitario para cada mezcla evaluada sufre una disminución (aligeramiento) a medida que se va incrementando la dosificación de fibra en la mezcla. Esto se debe principalmente a que la fibra atrapa más aire.

4.2.4.6. Potencial de fisuración

El ensayo de potencial de fisuración se realizó según ASTM C1579 – 12 Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete.

Ensayos realizados en el túnel de viento para los tres diseños de mezcla 175, 210 y 280 kg/cm² mostraron que la adición de fibra de polipropileno en una dosis de 400 gr/m³ logra inhibir la fisuración por hasta en un 65% aproximadamente, mientras que en condiciones ambientales reales esta misma dosis logra inhibir hasta un 90% de la fisuración por contracción plástica.

Pey-Shiuan Song, Chi-jen Tu. (2014), Milind, V. (2015), Dávila, M. (2010), López, J. (2015), Manzano, J. (2014), Rojas, H. (2009), García, P. (2007) y Tello, A. (2008), concluyen que la adición de fibra de polipropileno reduce significativamente la fisuración por contracción plástica, en porcentajes hasta del 90%, respecto al diseño convencional.

4.2.5. Propiedades Mecánicas del Concreto

4.2.5.2. Resistencia a la compresión

El ensayo de resistencia a la compresión se ha realizado según NTP 339.034 HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto.

Se observó que adiciones de fibra de polipropileno en el concreto hidráulico incrementan ligeramente la resistencia a la compresión hasta un 3% cuando se

aplica dosis de 400 gr/m³ de concreto. Sin embargo se demostró estadísticamente que este aporte no es significativo.

Kolli Ramujee. (2013), Pey-Shiuan Song, Chi-jen Tu. (2014), Mohamed, R. (2006), Saeid Kakooei. (2012), López, J. (2015), Kolli Ramujee. (2013), Pey-Shiuan Song, Chi-jen Tu. (2014), concluyen que la adición de fibra de polipropileno produce un ligero incremento en la resistencia a la compresión.

Dávila, M. (2010), Rojas, H. (2009), García, P. (2007), concluyen que la adición de fibra de polipropileno no produce algún incremento o reducción en la resistencia a la compresión.

Mientras que Manzano, J. (2014) y Vidad, J. (2006), concluyen que la adición de fibra de polipropileno tiende a reducir la resistencia a la compresión.

4.2.5.3. Resistencia a la flexión

El ensayo de resistencia a la flexión se realizó según NTP 339.078 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto e vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.

Se observó que la resistencia a la flexión es un 20 % de la resistencia a la compresión, ambos son concreto convencional. La adición de fibra de polipropileno en el concreto hidráulico genera un incremento aproximado de 14% del módulo de rotura a flexión cuando se utiliza una dosis de fibra de polipropileno de 400 gr/m³ de concreto. Se demostró estadísticamente que el aporte si es significativo.

Kolli Ramujee. (2013), Pey-Shiuan Song, Chi-jen Tu. (2014), Mohamed, R. (2006), Milind, V. (2015), Saeid Kakooei. (2012), Dávila, M. (2010), López, J. (2015), Manzano, J. (2014), López, J. (2014), Rojas, H. (2009), García, P. (2007), Vidad, J. (2006) , Tello, A. (2008), concluyen que la adición de fibra de polipropileno genera un incremento en la resistencia a la flexión del concreto.

**CAPITULO V:
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. CONCLUSIONES

Se realizó diseños de mezclas estándar $f'c$ 175, 210 y 280 kg/cm², que fueron patrón de comparación con las mezclas que tuvieron adición de fibra de polipropileno, permitieron determinar la influencia de la fibra sobre las propiedades plásticas y mecánicas del concreto. Los diseños patrones fueron adicionados con fibra de polipropileno en proporciones en peso de 200, 300, y 400 gr por m³ de concreto.

Se analizó los efectos de la adición de fibra de polipropileno sobre las propiedades plásticas del concreto hidráulico, asentamiento, contenido de aire atrapado, temperatura, peso unitario y potencial de fisuración. Concluyendo, el asentamiento y el contenido de aire se reducen significativamente, mientras que la temperatura del concreto y su peso unitario no muestran variación significativa. Respecto al potencial de fisuración a mayor dosis de fibra mayor inhibición de fisuras por contracción plástica.

El contenido óptimo de fibra de polipropileno es de 400 gr/m³ de concreto que logra inhibir el potencial de fisuración en condiciones de laboratorio (túnel de viento) hasta un 65% y en condiciones ambientales reales logra inhibir el fisuramiento hasta en una 90%. Esta dosis de fibra redujo el asentamiento hasta en un 50%, el contenido de aire lo disminuyó hasta en un 25%, no altera la temperatura y el peso unitario del concreto fresco.

Se analizó los efectos de la adición de fibra de polipropileno en las propiedades mecánicas del concreto hidráulico (compresión y flexión). Ambas propiedades se ven incrementadas con la adición de fibra de polipropileno, aproximadamente en un 3% y 14% a la edad de 28 días, respectivamente. La dosis de 400 gr/m³ genera una resistencia a la compresión a los 28 días de 187.23, 216.32 y 307.93 kg/cm² para los diseños patrones de 175, 210 y 280 kg/cm², respectivamente. Respecto al módulo de rotura a flexión genera resistencias de 39.48, 47.54 y 48.34 kg/cm² para los diseños patrones de 175, 210 y 280 kg/cm², respectivamente. Estadísticamente se demostró que solo el aporte a flexión es significativo.

5.2. RECOMENDACIONES

No es recomendable en la Región Lambayeque el curado con aditivo Membranil Reforzado, puesto que solo garantiza obtener un 65% de la resistencia a la compresión de diseño, a los 28 días de edad del concreto.

La fibra de polipropileno solo representa un refuerzo secundario del concreto, no reemplazando al acero de refuerzo ni al de temperatura. Recomendado para elementos de gran superficie como losas aligeradas, macizas, pavimentos de concreto, etc., una dosis de 400 gr/m³ en la Región Lambayeque garantiza una reducción del potencial de fisuración hasta en un 90% en condiciones ambientales reales, la trabajabilidad se recupera adicionando un aditivo superplastificante Chemament 440 en una dosis 0.8, 0.95 y 1.1%, para las resistencias de 175, 210 y 280 kg/cm² , respecto a sus propiedades mecánicas de compresión y flexión, no causa algún efecto negativo.

Existen otro tipo de ensayos que se pueden realizar al concreto endurecido, como lo son pruebas de impacto, abrasión, fatiga, tenacidad entre otros con los cuales se determinara si las fibras brindan algún otro beneficio más a las mezclas de concreto, dichas pruebas quedan fuera del alcance de la presente investigación, son de suma importancia para ver su aplicación en estructuras hidráulicas sometidas a arrastre de sólidos.

Se debe estudiar el concreto bombeable, shotcrete reforzado con fibras de polipropileno, compatibilidad de los aditivos y características de las mezclas, con fines de estabilización de taludes, aplicación en túneles, etc.

La adición de fibra de polipropileno reduce el contenido de aire, consecuentemente también lo hace con la permeabilidad, se debe estudiar más a profundidad la relación de la fibra con el grado de reducción de permeabilidad con fines de aplicación a obras hidráulicas.

REFERENCIAS

- Calavera, J. (2005). Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado. Segunda edición. España: Intemac.
- Cifuentes, H., Alcalde, M., y Medina, F. (2011). Influencia de la adición de fibras de polipropileno sobre el comportamiento en fractura de elementos de hormigón de ancho variable. España.
- Cifuentes, H. y y Medina, F. (2007). Hormigón reforzado con fibras de polipropileno. Influencia de la ductilidad de la fibra sobre la fragilidad y el efecto tamaño. México.
- Dávila, M. (2014). Efecto de la adición de fibra de polipropileno sobre las propiedades plásticas y mecánicas del concreto. México.
- De los Ángeles, M., y Gutiérrez, P. (2011). Caracterización de fisuras en vigas de concreto reforzado con adición de fibras de polipropileno sometidas a flexión dinámica. Colombia.
- García, P. (2007). Verificación de la dosificación de fibras sintéticas para neutralizar las fisuras causadas por contracción plástica en el concreto. Perú.
- Kolli Ramujee. (2013). Strength properties of polypropylene fiber reinforced concrete. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. Volume 2, Issue 8. Page 3409 - 3413. India.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., and Tanesi, J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. Estados Unidos: Portland Cement Association.
- López, J (2015). Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: influencia del tipo y consumo de fibra adicionado. México.
- López, J. (2014). Propiedades mecánicas del concreto modificado a base de fibras de nylon y polipropileno para su uso en elementos estructurales. Guatemala.
- López, T., Rosales, D. Hernández, J., Horta, J. (2012). Características mecánicas de un suelo fino reforzado con micro fibras de polipropileno. México.
- Manzano, J. (2014). Evaluación del Efecto en la Contracción del Concreto con Fibras Estructurales de Polipropileno. Colombia.

- Milind V. Mohod. (2015). Performance of Polypropylene Fibre Reinforced Concrete. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. Volume 12, Issue 1 Ver. I. Page 28-36. India.
- Mohamed R. (2006) Effect of polypropylene fibers on the mechanical properties of normal concrete. Journal of Engineering Sciences, Assiut University, Volume 34, N°. 4. Page. 1049-1059. Egypt.
- Munizaga, G. (2009). Fisuración por retracción en hormigones: influencia del tipo de cemento. Chile.
- Ottazzi, G. (2013). Diseño en Concreto Armado. Perú. Asociación Capitulo Peruano del Instituto Americano del Concreto, segunda edición.
- Pey Shiuan Song y Chi Jen Tu. (2013). Effect of Different Types of Polypropylene Fibers on the Properties of Mortar. Journal of C.C.I.T., Volume 43, N°.2. China.
- Rojas, H. (2009). Concreto reforzado con fibra natural de origen animal (plumas de aves). Perú.
- Saeid Kakooei, Hazizan Md Akil, Morteza Jamshidi and Jalal Rouhi. (2012). The effects of polypropylene fibers on the properties of reinforced concrete structures. Construction and Building Materials. Page 73-77. Malaysia.
- San Bartolomé, A., y Ríos, R. (2013). Comportamiento a fuerza cortante de muros delgados de concreto reforzados en su zona central con barras de acero, fibra de polipropileno y con fibra de acero. Concreto y cemento, investigación y desarrollo. Volumen 5, N°1. Páginas 2-16. Perú.
- Serrera, A. (2013). Análisis de la adición de fibras de polipropileno en hormigones mediante métodos computacionales. España.
- Stewart, D. (2004). Development of a performance based, integrated design/selection mixture methodology for fiber reinforced concrete airfield pavements. Estados Unidos.
- Tello, A. (2008). Uso del aditivo superplastificante Rheobuild 1000 y la fibra de polipropileno Fibermesh 300 en edificios con ductilidad limitada aplicada al conjunto habitacional Lomas Caminos del Inca. Perú.
- Vidad, J. (2006). Análisis del comportamiento del concreto con incorporación de fibras de polipropileno. Perú.
- INEI. (2012). Cuadro Estadístico sobre Venta local de cemento por empresa, según departamento, 2009-2012.

Normas Técnicas Peruanas e Internacionales.

Diario Oficial El Peruano, 1999, NTP 339.034 HORMIGON (CONCRETO) Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto. Perú.

Diario Oficial El Peruano, 2012, NTP 339.078 CONCRETO Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto e vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo. Perú.

Diario Oficial El Peruano, 1999, NTP 339.035 CONCRETO Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto con el cono de Abrams. Perú.

Diario Oficial El Peruano, 1999, NTP 339.080. HORMIGON (CONCRETO). Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas. Ensayo tipo hidráulico. Perú.

Diario Oficial El Peruano, 2008, NTP 339.046 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto). Perú.

Diario Oficial El Peruano, NTP 339.184. HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto). Peru.

American Society for Testing and Materials, 2012, ASTM C1579 – 12. Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete. Estados Unidos.

Diario Oficial El Peruano, 2009, NTP. 339.033. HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo. Perú.

Diario Oficial El Peruano, 2006, NTP 339.088 CONCRETO Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland. Perú.

Diario Oficial El Peruano, 2000, NTP 334.082 CEMENTOS PORTLAND. Especificación de la performance. Perú.

American Society for Testing and Materials, 2001, Especificación Normalizada de Desempeño para Cemento Hidráulico. Estados Unidos.

Diario Oficial El Peruano, 2001, NTP 334.001 CEMENTOS. Definiciones y nomenclatura. Perú.

Diario Oficial El Peruano, 2002, NTP 400.037 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. Perú.

Diario Oficial El Peruano, 2002, NTP 400.013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar el efecto de las impurezas del agregado fino sobre la resistencia de morteros y concreto. Perú.

Diario Oficial El Peruano, 2001, NTP 400.012 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Perú.

Diario Oficial El Peruano, 1999, NTP 400.017 AGREGADOS Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. Perú.

Diario Oficial El Peruano, 2002, NTP 400.021 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción, de agregado grueso. Perú.

Diario Oficial El Peruano, 2002, NTP 400.022 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción, de agregado fino. Perú.

Diario Oficial El Peruano, 2002, NTP 339.185 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Perú.

American Society for Testing and Materials, 2006, Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto. American Society for Testing and Materials. Estados Unidos.

ANEXOS

Anexo N°01. Diseño de mezclas



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : Efectos de la adición de fibra de Polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico.

AUTOR : Armas Aguilar César Hugo.

ASESOR : Ing. Ruiz Saavedra Nepton David.

PATROCINADOR : Chema S.A

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

175.00 kg/cm²

Método del Comité 211 del ACI

GENERALIDADES

Materiales : Arena. La Victoria, Pátapo.
Piedra de 1/2 pulg. Tres Tomas, Ferreñafe.

Tipo de Cemento : Portland Tipo I Peso esp. 3.15 gr/cm³ 42.50 kg/bls

Agua :

Aditivo : Chemament 440 **Tipo** : Superplastificante

Cantidad de Aditivo : 0.00%

Densidad aparente del aditivo : 0.00 gr/cm³

Aire incorporado : 0% Concreto sin aire incorporado.

CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS AGREGADOS

Propiedad	Arena	Piedra
Humedad Natural	0.87%	0.07%
Absorción	1.01%	0.75%
Peso Específico de Masa	2.5333 gr/cm ³	2.6961 gr/cm ³
Peso Unitario Varillado	1.6344 gr/cm ³	1.5545 gr/cm ³
Módulo de Fineza	2.92	6.86
Tamaño Máximo Nominal del Agregado	---	1/2"
Peso Unitario Suelto	1.50 gr/cm ³	1.40 gr/cm ³

1. RESISTENCIA PROMEDIO E-060

f'c	f'cr
Menor de 210	f'c + 70
210 a 350	f'c + 0
Mayor de 350	1.1*f'c + 50

f'cr = 175.00 kg/cm²

2. ASENTAMIENTO SEGÚN CONSISTENCIA

Consistencia	Asentamiento
Seca	0 a 2 Pulg.
Plástica	3 a 4 Pulg.
Fluida	Mayor a 5 Pulg.

Consistencia: Plástica
3 a 4 Pulg.
Slump de diseño: 4 Pulg.
para reajustes en laboratorio.

3. RELACION AGUA CEMENTO DE DISEÑO EN PESO

Resistencia a la Compresión (28 días), f'cr en kg/cm ²	Relación agua cemento de diseño en peso.	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Interpolación

	Concreto sin aire incorporado.			
Mayor inmediato a f'cr	200	→	0.70	
f'cr	175	→	R a/c	
Menor inmediato a f'cr	150	→	0.80	R a/c 0.75

4. VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

Asentamiento	Agua en lt/m ³ , para los tamaños máximos nominales (TMN) de agregado grueso y consistencia indicada							
	3/8 Pulg.	1/2 Pulg.	3/4 Pulg.	1 Pulg.	1 1/2 Pulg.	2 Pulg.	3 Pulg.	6 Pulg.
Concreto sin aire incorporado								
1 a 2 Pulg.	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4 Pulg.	228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7 Pulg.	243	228	216	202	190	178	160	---
Concreto con aire incorporado								
1 a 2 Pulg.	181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4 Pulg.	202	193	184	175	165	157	133	119
6 a 7 Pulg.	216	205	197	184	174	166	154	---

TMN : 1/2"

Consistencia : Plástica 3 a 4 Pulg.

Concreto sin aire incorporado.

Seleccionar : 216.00 lt/m³

5. FACTOR CEMENTO

$$f_c = \frac{\text{Vol. Unit. Agua}}{R a/c}$$

$$f_c = 288.00$$

6. CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

Tamaño Máximo Nominal (TMN)	% Aire atrapado
3/8"	3%
1/2"	2.50%
3/4"	2%
1"	1.50%
1 1/2"	1%
2"	0.50%
3"	0.30%
6"	0.20%

TMN : 1/2"

% Aire atrapado 2.50%

7. PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO

Tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN)	Volumen del agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
	Módulo de fineza del agregado fino (mf)			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

TMN : 1/2"

Módulo de fineza : 2.92

Interpolación

	Concreto sin aire		
	incorporado.		
Mayor inmediato a mf	3.00	→	0.53
fm	2.92	→	V
Menor inmediato a mf	2.80	→	0.55
			V = 0.54
Peso del agregado grueso	837.11 kg		

8. VOLUMEN ABSOLUTO DE MATERIALES

Cemento	:	0.0914 m ³
Piedra 1/2"	:	0.3105 m ³
Arena	:	904.6018 kg
Agua	:	0.2160 m ³
Aire	:	0.0250 m ³

9. CORRECCION POR HUMEDAD

$$\text{Corrección por humedad} = \left[\frac{\%CH}{100} + 1 \right] * P$$

Arena	:	912.4642 kg
Piedra 1/2"	:	837.6724 kg

10. CORRECCION POR ABSORCION Y AGUA EFECTIVA

$$\text{Corrección por abs. y agua efec.} = \left[\frac{\%Abs - \%CH}{100} \right] * P$$

Arena	:	1.27
Piedra 1/2"	:	5.69
		Σ = 6.96
Reajuste del volumen de agua		222.96 lt/m ³

11. DISEÑO TEORICO

Cemento	:	288.00 kg
Arena	:	912.4642 kg
Piedra 1/2"	:	837.6724 kg
Agua	:	222.96 lt/m ³
Chemament 440	:	#iDIV/0!
		Σ = 2261.10

12. PROPORCION EN PESO

Cemento	:	1.00	1.00			
Arena	:	3.17	3.14			
Piedra 1/2"	:	2.91	2.91			
Agua	:	32.90				
Chemament 440	:	#iDIV/0!				
		C	Aa	1/2"	Agua	Chemament 440
Prop. en peso sin corregir por humedad	:	1.00	3.14	2.91		
Prop. en peso corregido por humedad	:	1.00	3.17	2.91	32.90	#iDIV/0! lt/pie ³

13. PROPORCION EN VOLUMEN

Cemento	:	1.00				
Arena	:	3.17				
Piedra 1/2"	:	3.11				
Agua	:	32.90				
Chemament 440	:	#iDIV/0!				
		C	Aa	1/2"	Agua	Chemament 440
Prop. en volumen corregido por humedad	:	1.00	3.17	3.11	32.90	#iDIV/0! lt/pie ³

Tanda Teórica V = 0.015 m³

Cemento	4.3200 Kg	F/cemento	: 6.8 Bls/m ³
Arena	13.6870 Kg	R a/c de diseño	: 0.75
Piedra 1/2"	12.5651 Kg	R a/c de obra	: 0.77
Agua	3.3445 Kg	Aditivo en Kg/m ³	: 0.00 Kg/m ³
Chemament 440	#iDIV/0!		
$\Sigma =$	33.92 kg		

AJUSTE DE LAS PROPORCIONES EN LABORATORIO

1. CONSIDERACIONES GENERALES

- A
Con tanda de ensayo elaborar el concreto.
- B
Medir Slump, si esta comprendido de 3 a 4 Pulg F. Ok., pasar a item
- C
Si no se cumple item B, y la mezcla es seca, adicionar agua hasta alcanzar Slump deseado.
- D
La cantidad de agua adicionada y el nuevo Slump obtenido
- E
Con nueva tanda de ensayo obtenido en item D., volver a elaborar concreto y medir Slump, si cumple OK., sino repetir procesos C, D y E., hasta obtener el Slump de diseño deseado.
- F
Obtenido el Slump de diseño, elaborar probetas y someter a ensayo de compresión a los 7 y 28 días, debiendo alcanzar el 65% y 100% respectivamente de la resistencia a la compresión de diseño. Obtenido Slump y resistencia a la compresión de diseño, SE ACEPTA PROPORCION.

2. TANDA DE ENSAYO

Σ Agregados Teórico	1750.14 kg		
Σ Agregados Ajuste	1740.85 kg		
Peso de tanda de ensayo	33.92 kg		
Peso Unitario de Mezcla Teórica	2261.10		
Rendimiento	0.015		
Ajuste de agua de mezclado	222.96 lt/m ³	Ra/c final	0.75
Ajuste de cantidad de cemento	297.28 kg	F. Cemento	6.99
Ajuste de grava (húmedo)	879.56 kg	% de grava	51%
Ajuste de arena (húmedo)	861.30 kg	% de arena	49%
Ajuste de % de Grava	5.00		

TANDA DE ENSAYO	V = 0.015 m ³				
Cemento	4.459 kg				
Arena	12.919 kg		C	Aa	1/2"
Piedra 1/2"	13.193 kg	Proporción en Peso	1.00	2.90	2.96
Agua	3.344 kg	Proporción en Vol.	1.00	2.90	3.16
$\Sigma =$	33.916 Kg				Agua
					31.88

3. CORRECCIONES

Se elaboró un concreto con las proporciones de la TANDA DE DISEÑO, obteniéndose:

3.1. Ajuste de agua de TANDA DE ENSAYO

Cantidad de agua sobrante o incrementada 280 ml 0.280 lt

3.2. Consistencia del concreto fresco (Slump)

Slump teorico del diseño	4.0 Pulg.	101.60 mm
Slump obtenido en comprobación	4.0 Pulg.	101.60 mm
Ajuste de cantidad de agua	0.000 lt	

3.3. Peso Unitario del Concreto Fresco

Dimensiones del molde	Base : 0.203 m	Altura : 0.220 m	Vol.: 0.0071 m ³
Peso de la muestra + peso del molde	16950.00 gr		
Peso del molde	0.00 gr		
Volumen del molde	0.0071 m ³		
Peso unitario del concreto fresco sin aire incorporado	2380.48 kg/m ³		

3. TANDA DE DISEÑO

Σ Agregados Teórico	1750.14 kg		
Σ Agregados Ajuste	1786.739996		
Peso de tanda de ensayo	33.92 kg	247.7411	
Peso Unitario de Mezcla Teórica	2380.48		
Rendimiento	0.014		
Ajuste de agua de mezclado	254.46 lt/m ³	Ra/c final	0.75
Ajuste de cantidad de cemento	339.28 kg	F. Cemento	7.98
Ajuste de grava (húmedo)	926.00 kg	% de grava	52%
Ajuste de arena (húmedo)	860.74 kg	% de arena	48%
Ajuste por Slump	0.000		
Ajuste de % de Grava	5.00		

TANDA DE DISEÑO	V =	0.015 m ³				
Cemento	5.089 kg					
Arena	12.911 kg					
Piedra 1/2"	13.890 kg	Proporción en Peso	1.00	2.54	2.73	31.88
Agua	3.817 kg	Proporción en Vol.	1.00	2.54	2.92	31.88
Σ =	35.707 Kg					



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : Efectos de la adición de fibra de Polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico.

AUTOR : Armas Aguilar César Hugo.

ASESOR : Ing. Ruiz Saavedra Nepton David.

PATROCINADOR : Chema S.A

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

210.00 kg/cm²

Método del Comité 211 del ACI

GENERALIDADES

Materiales : Arena. La Victoria, Pátapo.
Piedra de 1/2 pulg. Tres Tomas, Ferreñafe.

Tipo de Cemento : Portland Tipo I Peso esp. 3.15 gr/cm³ 42.50 kg/bls

Agua :

Aditivo : Chemament 440 **Tipo** : Superplastificante

Cantidad de Aditivo : 0.00%

Densidad aparente del aditivo : 0.00 gr/cm³

Aire incorporado : 0% Concreto sin aire incorporado.

CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS AGREGADOS

Propiedad	Arena	Piedra
Humedad Natural	0.87%	0.07%
Absorción	1.01%	0.75%
Peso Específico de Masa	2.5333 gr/cm ³	2.6961 gr/cm ³
Peso Unitario Varillado	1.6344 gr/cm ³	1.5545 gr/cm ³
Módulo de Fineza	2.92	6.86
Tamaño Máximo Nominal del Agregado	---	1/2"
Peso Unitario Suelto	1.50 gr/cm ³	1.40 gr/cm ³

1. RESISTENCIA PROMEDIO

E-060

f'c	f'cr
Menor de 210	f'c + 70
210 a 350	f'c + 0
Mayor de 350	1.1*f'c + 50

f'cr = 210.00 kg/cm²

2. ASENTAMIENTO SEGÚN CONSISTENCIA

Consistencia	Asentamiento
Seca	0 a 2 Pulg.
Plástica	3 a 4 Pulg.
Fluida	Mayor a 5 Pulg.

Consistencia: Plástica
3 a 4 Pulg.
Slump de diseño: 4 Pulg.
para reajustes en laboratorio.

3. RELACION AGUA CEMENTO DE DISEÑO EN PESO

Resistencia a la Compresión (28 días), f'_{cr} en kg/cm^2	Relación agua cemento de diseño en peso.	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Interpolación

Concreto sin aire Incorporado.

Mayor inmediato a f'_{cr} 250 \longrightarrow 0.62
 f'_{cr} 210 \longrightarrow R a/c
 Menor inmediato a f'_{cr} 200 \longrightarrow 0.70 R a/c 0.68

4. VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

Asentamiento	Agua en lt/m^3 , para los tamaños máximos nominales (TMN) de agregado grueso y consistencia indicada								
	3/8 Pulg.	1/2 Pulg.	3/4 Pulg.	1 Pulg.	1 1/2 Pulg.	2 Pulg.	3 Pulg.	6 Pulg.	
Concreto sin aire incorporado									
1 a 2 Pulg.	207	199	190	179	166	154	130	113	
3 a 4 Pulg.	228	216	205	193	181	169	145	124	
6 a 7 Pulg.	243	228	216	202	190	178	160	---	
Concreto con aire incorporado									
1 a 2 Pulg.	181	175	168	160	150	142	122	107	

3 a	4 Pulg.	202	193	184	175	165	157	133	119
6 a	7 Pulg.	216	205	197	184	174	166	154	---

TMN : 1/2"

Consistencia : Plástica 3 a 4 Pulg.

Concreto sin aire incorporado.

Seleccionar : 216.00 lt/m3

5. FACTOR CEMENTO

$$fc = \frac{\text{Vol. Unit. Agua}}{R a/c}$$

$$fc = 317.65$$

6. CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

Tamaño Máximo Nominal (TMN)	% Aire atrapado
3/8"	3%
1/2"	2.50%
3/4"	2%
1"	1.50%
1 1/2"	1%
2"	0.50%
3"	0.30%
6"	0.20%

TMN : 1/2"
% Aire atrapado 2.50%

7. PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO

Tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN)	Volumen del agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
	Módulo de fineza del agregado fino (mf)			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65

1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

TMN : 1/2"

Módulo de fineza : 2.92

Interpolación

Concreto sin aire incorporado.

Mayor inmediato a mf 3.00 → 0.53

mf 2.92 → V

Menor inmediato a mf 2.80 → 0.55

V = 0.54

Peso del agregado grueso 837.11 kg

8. VOLUMEN ABSOLUTO DE MATERIALES

Cemento : 0.1008 m³
 Piedra 1/2" : 0.3105 m³
 Arena : 880.7590 kg
 Agua : 0.2160 m³
 Aire : 0.0250 m³

9. CORRECCION POR HUMEDAD

$$\text{Corrección por humedad} = \left[\frac{\%CH}{100} + 1 \right] * P$$

Arena : 888.4143 kg

Piedra 1/2" : 837.6724 kg

10. CORRECCION POR ABSORCION Y AGUA EFECTIVA

$$\text{Corrección por abs. y agua efec.} = \left[\frac{\%Abs - \%CH}{100} \right] * P$$

Arena : 1.24

Piedra 1/2" : 5.69

Σ = 6.93

Reajuste del volumen de agua 222.93 lt/m³

11. DISEÑO TEORICO

Cemento	:	317.65 kg
Arena	:	888.4143 kg
Piedra 1/2"	:	837.6724 kg
Agua	:	222.93 lt/m ³
Chemament 440	:	#¡DIV/0!
$\Sigma =$		2266.66

12. PROPORCION EN PESO

Cemento	:	1.00	1.00			
Arena	:	2.80	2.77			
Piedra 1/2"	:	2.64	2.64			
Agua	:	29.83				
Chemament 440	:	#¡DIV/0!				
		C	Aa	1/2"	Agua	Chemament 440
Prop. en peso sin corregir por humedad	:	1.00	2.77	2.64		
Prop. en peso corregido por humedad	:	1.00	2.80	2.64	29.83	#¡DIV/0! lt/pie ³

13. PROPORCION EN VOLUMEN

Cemento	:	1.00				
Arena	:	2.80				
Piedra 1/2"	:	2.82				
Agua	:	29.83				
Chemament 440	:	#¡DIV/0!				
		C	Aa	1/2"	Agua	Chemament 440
Prop. en volumen corregido por humedad	:	1.00	2.80	2.82	29.83	#¡DIV/0! lt/pie ³

Tanda Teórica

$$V = 0.015 \text{ m}^3$$

Cemento	4.7647 Kg	F/cemento	: 7.5 Bls/m ³
Arena	13.3262 Kg	R a/c de diseño	: 0.68
Piedra 1/2"	12.5651 Kg	R a/c de obra	: 0.70
Agua	3.3439 Kg	Aditivo en Kg/m ³	: 0.00 Kg/m ³
Chemament 440	#¡DIV/0!		
$\Sigma =$	34.00 kg		

AJUSTE DE LAS PROPORCIONES EN LABORATORIO

1. CONSIDERACIONES GENERALES

A

Con tanda de ensayo elaborar el concreto.

B Medir Slump, si esta comprendido de 3 a 4 Pulg Ok., pasar a item

F.

C

Si no se cumple item B, y la mezcla es seca, adicionar agua hasta alcanzar Slump deseado.

D

La cantidad de agua adicionada y el nuevo Slump obtenido

E Con nueva tanda de ensayo obtenido en item D., volver a elaborar concreto y medir Slump, si cumple OK., sino repetir procesos C, D y E., hasta obtener el Slump de diseño deseado.

F Obtenido el Slump de diseño, elaborar probetas y someter a ensayo de compresión a los 7 y 28 días, debiendo alcanzar el 65% y 100% respectivamente de la resistencia a la compresión de diseño. Obtenido Slump y resistencia a la compresión de diseño, SE ACEPTA PROPORCION.

2. TANDA DE ENSAYO

Σ Agregados Teórico	1726.09 kg			
Σ Agregados Ajuste	1715.90 kg			
Peso de tanda de ensayo	34.00 kg			
Peso Unitario de Mezcla Teórica	2266.66			
Rendimiento	0.015			
Ajuste de agua de mezclado	222.93 lt/m3	Ra/c final		0.68
Ajuste de cantidad de cemento	327.84 kg	F. Cemento		7.71
Ajuste de grava (húmedo)	879.56 kg	% de grava		51%
Ajuste de arena (húmedo)	836.34 kg	% de arena		49%
Ajuste de % de Grava	5.00			

TANDA DE ENSAYO	V =	0.015 m ³	-				
Cemento	4.918 kg						
Arena	12.545 kg			C	Aa	1/2"	Agua
Piedra 1/2"	13.193 kg	Proporción en Peso	1.00	2.55	2.68	28.90	
Agua	3.344 kg	Proporción en Vol.	1.00	2.55	2.87	28.90	
Σ =	34.000 Kg						

3. CORRECCIONES

Se elaboró un concreto con las proporciones de la TANDA DE DISEÑO, obteniéndose:

3.1. Ajuste de agua de TANDA DE ENSAYO

Cantidad de agua sobrante o incrementada 180 ml 0.180 lt

3.2. Consistencia del concreto fresco (Slump)

Slump teorico del diseño 4.0 Pulg. 101.60 mm
Slump obtenido en comprobación 3.8 Pulg. 96.52 mm
Ajuste de cantidad de agua 1.016 lt

3.3. Peso Unitario del Concreto Fresco

Dimensiones del molde	Base : 0.203 m	Altura : 0.220 m	Vol.: 0.0071 m ³
Peso de la muestra + peso del molde	16950.00 gr		
Peso del molde	0.00 gr		
Volumen del molde	0.0071 m ³		
Peso unitario del concreto fresco sin aire incorporado	2380.48 kg/m ³		

3. TANDA DE DISEÑO

Σ Agregados Teórico	1726.09 kg		
Σ Agregados Ajuste	1768.232607		
Peso de tanda de ensayo	34.00 kg	247.7411	
Peso Unitario de Mezcla Teórica	2380.48		
Rendimiento	0.014		
Ajuste de agua de mezclado	247.82 lt/m ³	Ra/c final	0.68
Ajuste de cantidad de cemento	364.43 kg	F. Cemento	8.57
Ajuste de grava (húmedo)	923.72 kg	% de grava	52%
Ajuste de arena (húmedo)	844.51 kg	% de arena	48%
Ajuste por Slump	1.016		
Ajuste de % de Grava	5.00		

TANDA DE DISEÑO	V =	0.015 m ³	-			
Cemento	5.467 kg					
Arena	12.668 kg					
Piedra 1/2"	13.856 kg	Proporción en Peso	1.00	2.32	2.53	28.90
Agua	3.717 kg	Proporción en Vol.	1.00	2.32	2.71	28.90
Σ =	35.707 Kg					



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : Efectos de la adición de fibra de Polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico.

AUTOR : Armas Aguilar César Hugo.

ASESOR : Ing. Ruiz Saavedra Nepton David.

PATROCINADOR : Chema S.A

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

280.00 kg/cm²

Método del Comité 211 del ACI

GENERALIDADES

Materiales : Arena. La Victoria, Pátapo.
Piedra de 1/2 pulg. Tres Tomas, Ferreñafe.

Tipo de Cemento : Portland Tipo I Peso esp. 3.15 gr/cm³ 42.50 kg/bls

Agua :

Aditivo : Chemament 440 **Tipo** : Superplastificante

Cantidad de Aditivo : 0.00%

Densidad aparente del aditivo : 0.00 gr/cm³

Aire incorporado : 0% Concreto sin aire incorporado.

CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS AGREGADOS

Propiedad	Arena	Piedra
Humedad Natural	0.87%	0.07%
Absorción	1.01%	0.75%
Peso Específico de Masa	2.5333 gr/cm ³	2.6961 gr/cm ³
Peso Unitario Varillado	1.6344 gr/cm ³	1.5545 gr/cm ³
Módulo de Fineza	2.92	6.86
Tamaño Máximo Nominal del Agregado	---	1/2"
Peso Unitario Suelto	1.50 gr/cm ³	1.40 gr/cm ³

1. RESISTENCIA PROMEDIO

E-060

f'c	f'cr
Menor de 210	f'c + 70
210 a 350	f'c + 5
Mayor de 350	1.1*f'c + 50

f'cr = 285.00 kg/cm²

2. ASENTAMIENTO SEGÚN CONSISTENCIA

Consistencia	Asentamiento
Seca	0 a 2 Pulg.
Plástica	3 a 4 Pulg.
Fluida	Mayor a 5 Pulg.

Consistencia: Plástica
3 a 4 Pulg.
Slump de diseño: 4 Pulg.
para reajustes en laboratorio.

3. RELACION AGUA CEMENTO DE DISEÑO EN PESO

Resistencia a la Compresión (28 días), f'cr en kg/cm ²	Relación agua cemento de diseño en peso.	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Interpolación

	Concreto sin aire incorporado.				
Mayor inmediato a f'cr	300	→	0.55		
f'cr	285	→	R a/c		
Menor inmediato a f'cr	250	→	0.62	R a/c	0.57

4. VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

Asentamiento	Agua en lt/m ³ , para los tamaños máximos nominales (TMN) de agregado grueso y consistencia indicada							
	3/8 Pulg.	1/2 Pulg.	3/4 Pulg.	1 Pulg.	1 1/2 Pulg.	2 Pulg.	3 Pulg.	6 Pulg.
Concreto sin aire incorporado								
1 a 2 Pulg.	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4 Pulg.	228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7 Pulg.	243	228	216	202	190	178	160	---
Concreto con aire incorporado								

1	a	2 Pulg.	181	175	168	160	150	142	122	107
3	a	4 Pulg.	202	193	184	175	165	157	133	119
6	a	7 Pulg.	216	205	197	184	174	166	154	---

TMN : 1/2"

Consistencia : Plástica 3 a 4 Pulg.

Concreto sin aire incorporado.

Seleccionar : 216.00 lt/m3

5. FACTOR CEMENTO

$$f_c = \frac{\text{Vol. Unit. Agua}}{R a/c}$$

$$f_c = 378.95$$

6. CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO

Tamaño Máximo Nominal (TMN)	% Aire atrapado
3/8"	3%
1/2"	2.50%
3/4"	2%
1"	1.50%
1 1/2"	1%
2"	0.50%
3"	0.30%
6"	0.20%

TMN : 1/2"

% Aire atrapado 2.50%

7. PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO

Tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN)	Volumen del agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
	Módulo de fineza del agregado fino (mf)			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60

1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

TMN : 1/2"

Módulo de fineza : 2.92

Interpolación

		Concreto sin aire			
incorporado.					
Mayor inmediato a mf	3.00	→	0.53		
	mf	→	V		
Menor inmediato a mf	2.80	→	0.55	V =	0.54
Peso del agregado grueso			837.11 kg		

8. VOLUMEN ABSOLUTO DE MATERIALES

Cemento	:	0.1203 m ³
Piedra 1/2"	:	0.3105 m ³
Arena	:	831.4602 kg
Agua	:	0.2160 m ³
Aire	:	0.0250 m ³

9. CORRECCION POR HUMEDAD

$$\text{Corrección por humedad} = \left[\frac{\%CH}{100} + 1 \right] * P$$

Arena	:	838.6869 kg
Piedra 1/2"	:	837.6724 kg

10. CORRECCION POR ABSORCION Y AGUA EFECTIVA

$$\text{Corrección por abs. y agua efec.} = \left[\frac{\%Abs - \%CH}{100} \right] * P$$

Arena	:	1.17
Piedra 1/2"	:	5.69
		Σ = 6.86
Reajuste del volumen de agua		222.86 lt/m ³

11. DISEÑO TEORICO

Cemento	:	378.95 kg
Arena	:	838.6869 kg
Piedra 1/2"	:	837.6724 kg
Agua	:	222.86 lt/m ³
Chemament 440	:	#¡DIV/0!
$\Sigma =$		2278.17

12. PROPORCION EN PESO

Cemento	:	1.00	1.00
Arena	:	2.21	2.19
Piedra 1/2"	:	2.21	2.21
Agua	:	24.99	
Chemament 440	:	#¡DIV/0!	
		C	Aa
		1/2"	Agua
			Chemament 440
Prop. en peso sin corregir por humedad	:	1.00	2.19
Prop. en peso corregido por humedad	:	1.00	2.21

13. PROPORCION EN VOLUMEN

Cemento	:	1.00
Arena	:	2.21
Piedra 1/2"	:	2.36
Agua	:	24.99
Chemament 440	:	#¡DIV/0!
		C
		Aa
		1/2"
		Agua
		Chemament 440
Prop. en volumen corregido por humedad	:	1.00

Tanda Teórica

$$V = 0.015 \text{ m}^3$$

Cemento	5.6842 Kg	F/cemento	: 8.9 Bls/m ³
Arena	12.5803 Kg	R a/c de diseño	: 0.57
Piedra 1/2"	12.5651 Kg	R a/c de obra	: 0.59
Agua	3.3429 Kg	Aditivo en Kg/m ³	: 0.00 Kg/m ³
Chemament 440	#¡DIV/0!		
$\Sigma =$	34.17 kg		

AJUSTE DE LAS PROPORCIONES EN LABORATORIO

1. CONSIDERACIONES GENERALES

A

Con tanda de ensayo elaborar el concreto.

B

Medir Slump, si esta comprendido de

3

a

4 Pulg

Ok., pasar a item

F.

C

Si no se cumple item B, y la mezcla es seca, adicionar agua hasta alcanzar Slump deseado.

D

La cantidad de agua adicionada y el nuevo Slump obtenido

E Con nueva tanda de ensayo obtenido en item D., volver a elaborar concreto y medir Slump, si cumple OK., sino repetir procesos C, D y E., hasta obtener el Slump de diseño deseado.

F Obtenido el Slump de diseño, elaborar probetas y someter a ensayo de compresión a los 7 y 28 días, debiendo alcanzar el 65% y 100% respectivamente de la resistencia a la compresión de diseño. Obtenido Slump y resistencia a la compresión de diseño, SE ACEPTA PROPORCION.

2. TANDA DE ENSAYO

Σ Agregados Teórico	1676.36 kg		
Σ Agregados Ajuste	1664.32 kg		
Peso de tanda de ensayo	34.17 kg		
Peso Unitario de Mezcla Teórica	2278.17		
Rendimiento	0.015		
Ajuste de agua de mezclado	222.86 lt/m3	Ra/c final	0.57
Ajuste de cantidad de cemento	390.98 kg	F. Cemento	9.20
Ajuste de grava (húmedo)	879.56 kg	% de grava	53%
Ajuste de arena (húmedo)	784.77 kg	% de arena	47%
Ajuste de % de Grava	5.00		

TANDA DE ENSAYO	V =	0.015 m ³					
Cemento		5.865 kg					
Arena		11.772 kg					
Piedra	1/2"	13.193 kg	Proporción en Peso	1.00	2.01	2.25	24.23
Agua		3.343 kg	Proporción en Vol.	1.00	2.01	2.40	24.23
	Σ =	34.173 Kg					

3. CORRECCIONES

Se elaboró un concreto con las proporciones de la TANDA DE DISEÑO, obteniéndose:

3.1. Ajuste de agua de TANDA DE ENSAYO

Cantidad de agua sobrante o incrementada 200 ml 0.200 lt

3.2. Consistencia del concreto fresco (Slump)

Slump teorico del diseño 4.0 Pulg. 101.60 mm
 Slump obtenido en comprobación 3.0 Pulg. 76.20 mm
 Ajuste de cantidad de agua 5.080 lt

3.3. Peso Unitario del Concreto Fresco

Dimensiones del molde	Base : 0.203 m	Altura : 0.220 m	Vol.: 0.0071 m ³
Peso de la muestra + peso del molde	16950.00 gr		
Peso del molde	0.00 gr		
Volumen del molde	0.0071 m ³		
Peso unitario del concreto fresco sin aire incorporado	2380.48 kg/m ³		

3. TANDA DE DISEÑO

Σ Agregados Teórico	1676.36 kg		
Σ Agregados Ajuste	1686.506336		
Peso de tanda de ensayo	34.17 kg	247.7411	
Peso Unitario de Mezcla Teórica	2380.48		
Rendimiento	0.014		
Ajuste de agua de mezclado	251.95 lt/m ³	Ra/c final	0.57
Ajuste de cantidad de cemento	442.02 kg	F. Cemento	10.40
Ajuste de grava (húmedo)	875.29 kg	% de grava	52%
Ajuste de arena (húmedo)	811.21 kg	% de arena	48%
Ajuste por Slump	5.080		
Ajuste de % de Grava	0.00		

TANDA DE DISEÑO	V =	0.015 m ³	-			
Cemento	6.630 kg					
Arena	12.168 kg					
Piedra 1/2"	13.129 kg	Proporción en Peso	1.00	1.84	1.98	24.23
Agua	3.779 kg	Proporción en Vol.	1.00	1.84	2.12	24.23
Σ =	35.707 Kg					

Anexo N° 02. Ensayos de agregado fino y grueso



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : Efectos de la adición de fibra de Polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico.

AUTOR : Armas Aguilar César Hugo.

ASESOR : Ing. Ruiz Saavedra Nepton David.

PATROCINADOR : Chema S.A

MATERIAL : Arena.
La Victoria,

CANTERA : Pátapo.

1.- GRANULOMETRIA: N.T.P. 400.012 ASTM C-136

Muestra : Arena. La Victoria, Pátapo.

Peso Inicial : 400.00 g.

Módulo de Fineza, mf : 2.92

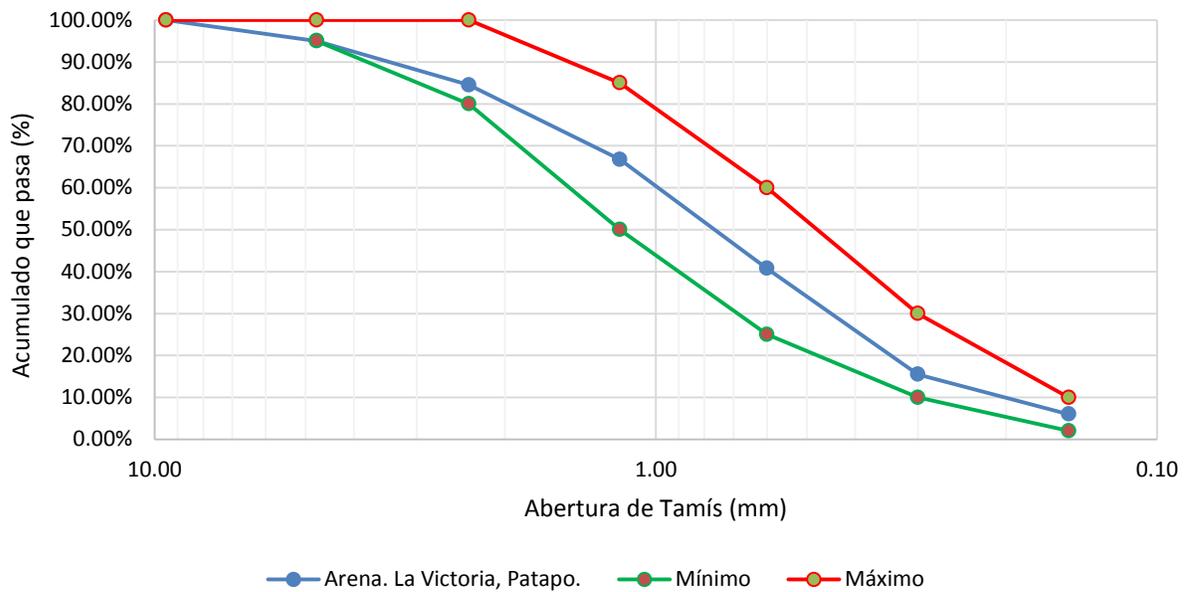
Malla		Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acum.	% Que Pasa Ac.
Pulg.	mm				
3/8"	9.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
Nº4	4.75	20.00	5.00%	5.00%	95.00%
Nº8	2.36	42.00	10.50%	15.50%	84.50%
Nº16	1.18	71.00	17.75%	33.25%	66.75%
Nº30	0.60	104.00	26.00%	59.25%	40.75%
Nº50	0.30	101.00	25.25%	84.50%	15.50%
Nº100	0.15	38.00	9.50%	94.00%	6.00%
FONDO		24.00	6.00%	100.00%	0.00%

Ok

400.0 100.00%

$$mf = \frac{N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100}{100}$$

CURVA GRANULOMETRICA



2.- PESO UNITARIO : N.T.P. 400.017

ASTM C-29

$$\left(\frac{(A+B)/2}{V}\right) / (1+(C.H./100))$$

PESO UNITARIO			
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ensayo N°01</i>	<i>Ensayo N°02</i>
Peso Unitario Suelto			
<i>Peso de la muestra húmeda</i>	<i>gr</i>	4200	4150
<i>Volumen del molde</i>	<i>cm³</i>	2757.81	2757.81
<i>Peso unitario suelto húmedo</i>	<i>gr/cm³</i>	1.52	1.50
<i>Peso unitario suelto húmedo (Promedio)</i>	<i>gr/cm³</i>	1.51	
PESO UNIT. SUELTO SECO	<i>gr/cm³</i>	1.501	
Peso Unitario Compactado			
<i>Peso de la muestra húmeda</i>	<i>gr</i>	4519	4574
<i>Volumen del molde</i>	<i>cm³</i>	2757.81	2757.81
<i>Peso unitario suelto húmedo</i>	<i>gr/cm³</i>	1.64	1.66
<i>Peso unitario suelto húmedo (Promedio)</i>	<i>gr/cm³</i>	1.65	
PESO UNIT. COMPACTADO SECO	<i>gr/cm³</i>	1.634	

N.T.P. 400.021 Arena

3.- PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN :

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION			
A.- Datos de la grava	Unidad	Ensayo N°01	Ensayo N°02
1.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca.	gr	500.0	500.0
2.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso frasco + Peso del agua.	gr	980.2	979.0
3.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso del frasco. (1+5)	gr	675.0	675.0
4.- Peso del Agua. (2-3)	gr	305.2	304.0
5.- Peso del Frasco	gr	175.0	175.0
6.- Peso de la muest. secada ahorno + Peso del frasco. (5+7)	gr	670.0	670.0
7.- Peso de la muest. seca en el horno.	gr	495.0	495.0
8.- Volumen del frasco.	cm ³	500.0	500.0

B.- Resultados	Unidad	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Promedio
A.- PESO ESPECIFICO DE LA ARENA. 7/(8-4)	gr/cm ³	2.541	2.526	2.533
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S. 7/(7-4)	gr/cm ³	2.608	2.592	2.600
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE 7/((8-4)-(8-7))	gr/cm ³	2.608	2.592	2.600
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN. ((1-7)/7)*100	%	1.01	1.01	1.01

4.- CONTENIDO DE HUMEDAD : N.T.P. 339.185

CONTENIDO DE HUMEDAD	Unidad	Ensayo N°01	Ensayo N°02
1.- Peso de la muest. húmeda	gr	906	952
2.- Peso de la muestra seca	gr	898	944
3.- Cont. Humedad	%	0.89	0.85
4.- Promedio	%	0.87	



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

TESIS : Efectos de la adición de fibra de Polipropileno en las propiedades plásticas y mecánicas del concreto hidráulico.

AUTOR : Armas Aguilar César Hugo.

ASESOR : Ing. Ruiz Saavedra Nepton David.

PATROCINADOR : Chema S.A
Piedra de 1/2

MATERIAL : pulg.

CANTERA : Tres Tomas, Ferreñafe.

1.- GRANULOMETRIA: N.T.P. 400.012 ASTM C-136

Muestra : Piedra de 1/2 pulg. Tres Tomas, Ferreñafe.

Peso Inicial : 4515.00 g.

Módulo de Fineza, mg : 6.86

Malla		Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acum.	% Que Pasa Ac.
Pulg.	mm				
2"	50.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2"	37.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
3/4"	19.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.50	2734.00	60.55%	60.55%	39.45%
3/8"	9.50	1166.00	25.83%	86.38%	13.62%
Nº4	4.75	605.00	13.40%	99.78%	0.22%
FONDO		10.00	0.22%	100.00%	0.00%

TM = 3/4"

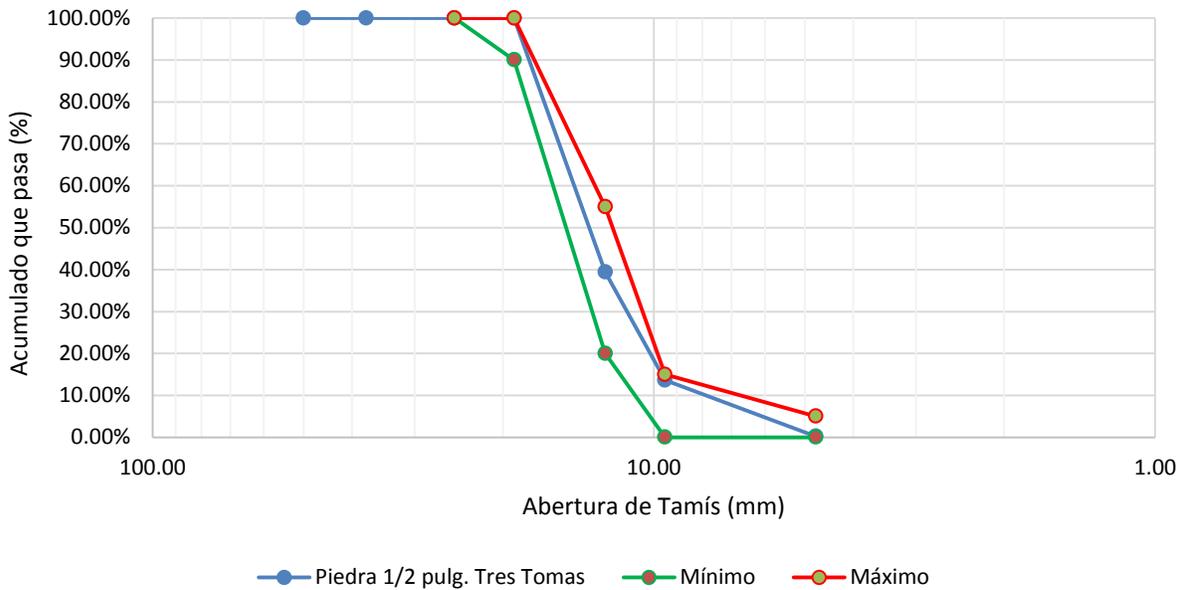
TMN = 1/2"

Ok

4515.0 100.00%

$$mg = \frac{1 \frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' + \frac{3}{8}'' + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100}{100}$$

CURVA GRANULOMETRICA



2.- PESO UNITARIO : N.T.P. 400.017

ASTM C-29

T.M. 3/4"

$$\left(\frac{(A+B)/2}{V} \right) / 1000 / (1 + (C.H./100))$$

T.M.N 1/2"

PESO UNITARIO			
<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Ensayo Nº01</i>	<i>Ensayo Nº02</i>
Peso Unitario Suelto			
<i>Peso de la muestra húmeda</i>	<i>gr</i>	13161	13241
<i>Volumen del molde</i>	<i>cm³</i>	9390.47	9390.47
<i>Peso unitario suelto húmedo</i>	<i>gr/cm³</i>	1.40	1.41
<i>Peso unitario suelto húmedo (Promedio)</i>	<i>gr/cm³</i>	1.41	
PESO UNIT. SUELTO SECO	<i>gr/cm³</i>	1.405	
Peso Unitario Compactado			
<i>Peso de la muestra húmeda</i>	<i>gr</i>	14565	14650
<i>Volumen del molde</i>	<i>cm³</i>	9390.47	9390.47
<i>Peso unitario suelto húmedo</i>	<i>gr/cm³</i>	1.55	1.56
<i>Peso unitario suelto húmedo (Promedio)</i>	<i>gr/cm³</i>	1.56	
PESO UNIT. COMPACTADO SECO	<i>gr/cm³</i>	1.555	

3.- PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN :

N.T.P. 400.022

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION			
A.- Datos de la grava	Unidad	Ensayo N°01	Ensayo N°02
1.- Peso de la muestra seca al horno	gr	1231	712
2.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr	1239	718
3.- Peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla	gr	1729	1403
4.- Peso de la canastilla	gr	945	950
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua (3-4)	gr	784	453

B.- Resultados	Unidad	Ensayo N°01	Ensayo N°02	Promedio
A.- PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA. $1/(2-5)$	gr/cm ³	2.705	2.687	2.696
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S. $2/(2-5)$	gr/cm ³	2.723	2.709	2.716
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE $1/(1-5)$	gr/cm ³	2.754	2.749	2.751
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN. $((2-1)/1)*100$	%	0.65	0.84	0.75

4.- CONTENIDO DE HUMEDAD : N.T.P. 339.185

CONTENIDO DE HUMEDAD	Unidad	Ensayo N°01	Ensayo N°02
1.- Peso de la muestr. húmeda	gr	673	750
2.- Peso de la muestra seca	gr	673	749
3.- Cont. Humedad	%	0.00	0.13
4.- Promedio	%	0.07	

Anexo N°03. Información meteorológica del mes de Abril, SENAMHI.

PERÚ **Ministerio del Ambiente** **Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI** **Directorio Regional de Lambayeque**

2007-2016 "DECENIO DE LAS PERSONAS CON DISCAPACIDAD EN EL PERÚ"
"AÑO DE LA CONSOLIDACION DEL MAR DE GRAU"

UBICACION: REQUE
CATEGORIA: "CO"

LAT.: 06° 53' 10,2"
LONG. 79° 50' 7,6"
ALT.: 21 msnm

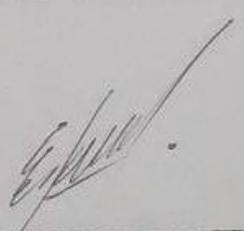
DPTO: LAMBAYEQUE
PROV: CHICLAYO
DIST: REQUE

INFORMACION CLIMATOLOGICA

PERIODO: ABRIL 2016

PREPARADA PARA: Armas Aguilar César Hugo

PARAMETROS	Abril 2016
Temperatura Media (°C)	23.7
Humedad Relativa (%)	82
Viento (m/seg)	SE-7

ING° HUGO PANTOJA TAPIA
Registro CIP. 74329
Director Regional SENAMHI-Lambayeque

Anexo N°04. Evidencias fotográficas



Se observa el almacenamiento de los agregados en sacos, primera adquisición de materiales, 1 m³ de arena y 1 m³ de piedra ½" procedentes de las canteras La Victoria y Tres Tomas, respectivamente.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Peso unitario del agregado grueso (piedra ½"), realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Granulometría del agregado grueso (piedra $\frac{1}{2}$ "), realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Peso específico y absorción del agregado fino, realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Reajustes del agua de mezcla en los diseños convencionales de 175, 210 y 280 kg/cm².
Realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Peso unitario del concreto fresco. Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Ensayo de asentamiento del concreto fresco. Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Asentamiento de diseño 4 pulg. Ok!, después de varias tandas de prueba. Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Medición del asentamiento del concreto fresco. Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Medición de diámetros de probetas de 4 x 8 pulg. Realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Rotura de probetas en prensa hidráulica. Realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Probetas listas para rotura, cuatro últimas probetas de la derecha son blanquecinas debido al aditivo curador Membranil Reforzado. Realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Vaciado de probetas. Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Medición del diámetro de probetas. Realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Aplicando aditivo curador Membranil Reforzado. Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Personal de apoyo. (Ángelo Armas). Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Mezclado de concreto, Luis Armas (Personal de apoyo). Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Tesista (izquierda) y Luis Armas (Personal de apoyo). Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Registro de datos (fuerza a la que se produce la rotura) en rotura de probetas. Realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Llenado de vigas, $f'c$ 175 kg/cm² con adiciones de 0 y 200 gr/m³ de fibra de polipropileno. Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Desenfofrado de vigas, $f'c$ 175 kg/cm^2 con adiciones de 0 y 200 gr/m^3 de fibra de polipropileno. Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Vigas con $f'c$ 175, 210 y 280 kg/cm^2 con adiciones de 0, 200, 300 y 400 gr/m^3 de fibra de polipropileno, en poza de curado. Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Vigas desmoldadas, con $f'c$ 175, 210 y 280 kg/cm² con adiciones de 0, 200, 300 y 400 gr/m³ de fibra de polipropileno, listas para colocar en cámara de curado. Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Rotura de vigas. Realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Colocación de códigos a vigas con f_c 175, 210 y 280 kg/cm^2 con adiciones de 0, 200, 300 y 400 gr/m^3 de fibra de polipropileno. Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Llenado de losas en laboratorio, para ensayo de potencial de fisuración. Realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Jhonatan Cueva (Personal de apoyo). Realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



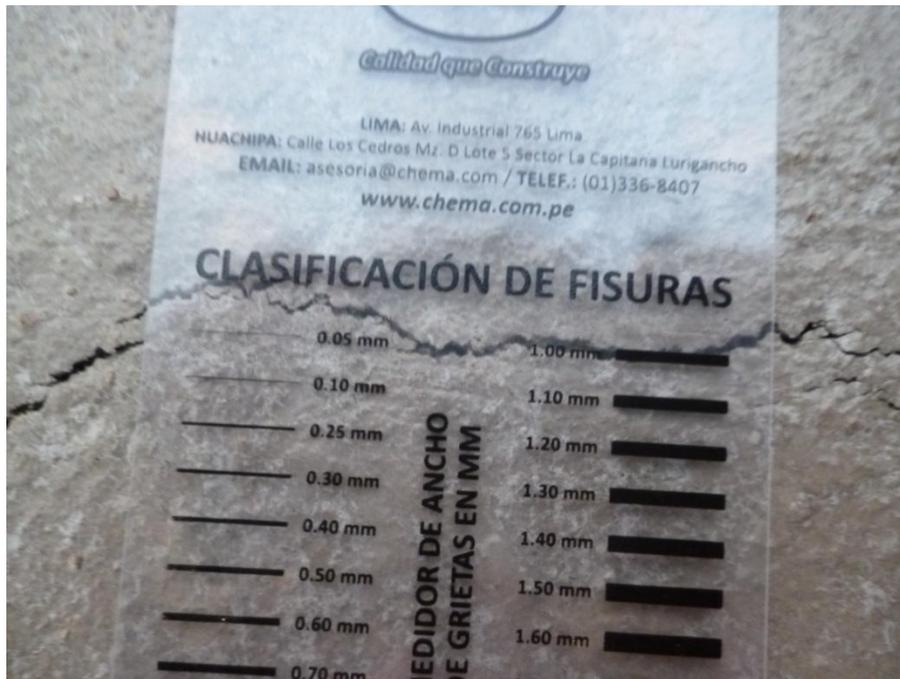
Medición de fisuras con Fisurómetro. Realizado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Medición de anchos de fisuras en losas de $f'c$ 175 kg/cm² en condiciones reales con adiciones de 0 y 400 gr/m³ de fibra de polipropileno. . Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.



Comparador de fisuras sobre fisura producida en losa de concreto expuesta a condiciones reales. Realizado en el Campus de la Universidad Señor de Sipán.

Fuente: Elaboración Propia, 2016.