

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



TESIS

**“ESTUDIO DEL CONCRETO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO
Y CEMENTO PORTLAND TIPO I PARA A/C:0.60”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

ROBEL NAU SAENZ CUNZA

ASESOR

Ing. CARLOS ARMANDO BARZOLA GASTELÚ

Lima- Perú

2019

© 2019, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos.”**

Saenz Cunza, Robel Nau

robelsaenz.c@uni.pe

937106862

DEDICATORIA

A mi mamita Donatila Cunza por su apoyo, su cariño y por ser mi motivación y ser la luz que guía mi camino.

A mi hermana Irma Saenz por ser conmigo una hermana muy especial que siempre estuvo para orientarme y darme fuerzas.

A mis hermanos y hermanas que siempre me apoyaron y estuvieron pendientes de mi desarrollo profesional, a todos ellos les dedico mi investigación con mucho cariño.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor de tesis el Ing. Carlos Armando Barzola Gastelú, por ser mi guía, por su orientación y sus recomendaciones a base de muchos años de experiencia profesional.

A mi hermana Irma, Magaly y a mis hermanos Ronal, Rossmel y Magnolio por haberme ayudado en cada etapa de mi desarrollo profesional y por haber confiado en mi persona.

A los técnicos de LEM por brindarme su apoyo y tiempo para absolver mis dudas, a los jefes de área por su amabilidad.

A mis amigos Miguel Palomino, Katerine Cahuancama y Jean Varas por sus recomendaciones y por haber atendido mis consultas.

ÍNDICE	
ÍNDICE	1
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
PRÓLOGO	8
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE GRÁFICOS	12
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	18
1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	19
1.1. GENERALIDADES	19
1.2. PROBLEMÁTICA	20
1.3. OBJETIVOS	21
1.3.1. Objetivo General	21
1.3.2. Objetivos Específicos	21
1.4. HIPÓTESIS	21
2. CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO	22
3. CAPÍTULO III. CONTRACCIÓN EN EL CONCRETO	24
3.1. DEFINICIÓN	24
3.2. CONTRACCIÓN EN CONCRETO FRESCO	25
3.2.1. Fisuración por retracción plástica	25
3.2.2. Fisuración por asentamiento de los agregados	26
3.3. CONTRACCIÓN EN CONCRETO ENDURECIDO	26
3.3.1. Retracción por secado	26
3.3.2. Tensiones de origen térmico	27
3.3.3. Prácticas constructivas inadecuadas	27
4. CAPÍTULO IV. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONTRACCIÓN DEL CONCRETO	29

4.1.	FACTORES INTERNOS	29
4.1.1.	Cementos	29
4.1.2.	Agregados	29
4.1.3.	Aditivos	30
4.1.4.	Contenido de agua	30
4.2.	FACTORES EXTERNOS	31
4.2.1.	Factores ambientales	31
4.2.2.	Geometría de la estructura	31
5.	CAPÍTULO V. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	33
5.1.	AGREGADO FINO	33
5.1.1.	Definición	33
5.1.2.	Granulometría (NTP 400.012)	33
5.1.2.1	Granulometría del agregado fino	35
5.1.3.	Módulo de Finura	37
5.1.4.	Peso Unitario del Agregado Fino (NTP 400.017)	37
5.1.4.1	Peso Unitario Suelto (PUS)	38
5.1.4.2	Peso Unitario Compactado (PUC)	39
5.1.5.	Peso Específico (NTP 400.022)	39
5.1.5.1.	Procedimiento Gravimétrico	40
5.1.6.	Absorción (NTP 400.022)	41
5.1.7.	Contenido de Humedad (NTP 339.185)	42
5.2.	AGREGADO GRUESO	44
5.2.1.	Definición	44
5.2.2.	Granulometría (NTP 400.012)	44
5.2.2.1.	Granulometría del agregado grueso	46
5.2.3.	Peso Unitario del Agregado Grueso (NTP 400.017)	48
5.2.3.1.	Peso Unitario Suelto (PUS)	48
5.2.3.2.	Peso Unitario Compactado (PUC)	49

5.2.4.	Peso Específico (NTP 400.021)	50
5.2.4.1.	Procedimiento	50
5.2.5.	Absorción (NTP 400.021)	53
5.2.6.	Contenido de Humedad (NTP 339.185)	53
5.3.	CEMENTO	55
5.3.1.	Definición	55
5.3.2.	Clinker Portland	55
5.3.3.	Cemento Portland Tipo I	55
5.4.	ADITIVO	57
5.4.1.	Definición	57
5.4.2.	Chema Fibra Ultrafina	57
6.	CAPÍTULO VI. DISEÑO DE MEZCLAS	60
6.1.	PARAMETROS BÁSICOS DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO	60
6.1.1.	Principio de los Volúmenes Absolutos	60
6.1.2.	Agregado Global	60
6.1.3.	Agregado Global de Máxima Densidad	60
6.1.4.	Combinación óptima de los Agregados	61
6.1.5.	Diseño de Mezcla	62
6.1.5.1.	Diseños de mezclas para ensayo.	70
7.	CAPÍTULO VII. ENSAYOS DEL CONCRETO	72
7.1.	CONCRETO EN ESTADO FRESCO	72
7.1.1.	Asentamiento (NTP 339.035)	72
7.1.2.	Peso Unitario (NTP 339.046)	73
7.1.3.	Fluidez (NTP 339.085)	75
7.1.4.	Contenido de aire (NTP 339.080)	76
7.1.5.	Exudación (NTP 339.077)	78
7.1.6.	Tiempo de Fragua (NTP 339.082)	80

7.2.	CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	83
7.2.1.	Resistencia a la compresión (NTP 339.034)	83
7.2.2.	Resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084)	87
7.2.3.	Módulo elástico estático (ASTM-C469)	90
7.3.	CONTRACCIÓN EN EL CONCRETO	91
7.3.1.	Ensayo de la Contracción restringida (AASHTO T 334-08)	91
7.3.1.1.	Concreto patrón	96
7.3.1.2.	Concreto con fibra ultrafina 200 g/m ³	100
7.3.1.3.	Concreto con fibra ultrafina 300 g/m ³	104
7.3.1.4.	Concreto con fibra ultrafina 400 g/m ³	108
8.	CAPÍTULO VIII. ANÁLISIS Y RESULTADOS	112
8.1.	AGREGADOS	112
8.1.1.	Agregado fino.	112
8.1.2.	Agregado grueso	112
8.2.	CONCRETO EN ESTADO FRESCO	112
8.2.1.	Asentamiento	112
8.2.2.	Peso unitario	113
8.2.3.	Fluidez	114
8.2.4.	Contenido de aire	115
8.2.5.	Exudación	116
8.2.6.	Tiempo de fragua	117
8.3.	CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	120
8.3.1.	Resistencia a la compresión	120
8.3.2.	Resistencia a la tracción por compresión diametral	122
8.3.3.	Módulo elástico estático	125
8.4.	ENSAYO DE LA CONTRACCIÓN RESTRINGIDA EN EL CONCRETO	126
8.4.1.	Contracción restringida en el concreto	126

8.4.1.1. Concreto patrón	126
8.4.1.2. Concreto con fibra ultrafina 200 g/m ³	128
8.4.1.3. Concreto con fibra ultrafina 300 g/m ³	128
8.4.1.4. Concreto con fibra ultrafina 400 g/m ³	129
8.4.1.5. Análisis comparativo	130
CONCLUSIONES	135
RECOMENDACIONES	139
BIBLIOGRAFÍA	140
ANEXOS	142

RESUMEN

Las fisuras en el concreto en estado plástico se generan por retracción superficial debido a una pérdida de humedad muy rápida, que pueden ser acrecentadas generalmente por una combinación de factores como las temperaturas del aire y del concreto, la velocidad del aire en la superficie del concreto y la humedad relativa. Las fisuras originadas en las estructuras de concreto pueden ser peligrosas dependiendo del ancho y la profundidad de la misma, y el uso al que se destinó dicha estructura.

Con la presente investigación busco reducir la formación de fisuras en estado plástico usando microfibras de polipropileno; para dicha investigación usé agregado fino de la cantera Huaycán, agregado grueso de la cantera Santa Clara, cemento portland tipo I y la microfibra Chema Fibra Ultrafina.

Se realizó diferentes ensayos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, empezando con el ensayo de propiedades físicas de los agregados, luego se realizó el diseño de mezcla para el concreto patrón y para tres dosificaciones diferentes de fibras por metro cúbico de mezcla; siendo estas 200 g/m³, 300g/m³ y 400g/m³; finalmente realicé ensayos en estado fresco y endurecido para los cuatro tipos de concreto. Se puso más énfasis en el ensayo de contracción restringida, dado que el objetivo de la investigación es reducir las fisuras mediante el uso de fibras.

Para el estudio de la generación de las fisuras por retracción plástica en el concreto, se realizó el ensayo de contracción restringida para el concreto patrón y tres dosificaciones de fibras (200 g/m³, 300g/m³ y 400g/m³).

Se buscó el mejor método de mezclado de las fibras para lograr una distribución tridimensional homogénea en toda la mezcla, para así maximizar su función en la reducción de las fisuras. La comparación de las fisuras generadas en el concreto patrón y las tres dosificaciones de fibras se hizo con muestras curadas por 7 días, comparando específicamente la cantidad, ancho y longitud de fisuras generadas en la superficie superior y superficie lateral del anillo de contracción.

Las fisuras superficiales y laterales disminuyen en cantidad, longitud y espesor al adicionar las fibras de polipropileno a la mezcla de concreto.

ABSTRACT

Cracks in concrete in the plastic state are generated by surface shrinkage due to a very rapid loss of moisture, which can be generally enhanced by a combination of factors such as air and concrete temperatures, air velocity at the surface of the concrete and the relative humidity. Fissures originated in concrete structures can be dangerous depending on the width and depth of the same, and the use to which the structure is intended.

With this research, we seek to reduce the formation of cracks in plastic state using polypropylene microfibers (Chema Fibra Ultrafina); for this research, fine aggregate from the Huaycán quarry, coarse aggregate from the Santa Clara quarry, portland type I cement and the Chema Fibra Ultrafina microfibre was used. Different tests were carried out in the Materials Testing Laboratory, starting with the physical properties test of the aggregates, then the mixing design was made for the standard concrete and for three different dosages of fibers per cubic meter of mixture; being these 200 g / m³, 300g / m³ and 400g / m³; finally tests in fresh and hardened state were carried out for the four types of concrete. More emphasis was placed on the restricted shrinkage test, since the objective of the research is to reduce the cracks by using fibers.

For the study of the generation of cracks by plastic shrinkage in concrete, the restricted shrinkage test was carried out for the standard concrete and three fiber dosages (200 g / m³, 300g / m³ and 400g / m³).

The best fiber mixing method was sought to achieve a homogenous three-dimensional distribution over the entire length of the mixture, in order to maximize its function in reducing cracks. The comparison of the fissures generated in the standard concrete and three fiber dosages was made with samples cured for 7 days, specifically comparing the amount, width and length of fissures generated in the upper surface and lateral surface of the contraction ring.

PRÓLOGO

Los problemas de fisuración en el concreto colocado, generalmente en áreas extensas, son muy cotidianos. Los ingenieros y especialistas en el rubro de la construcción están en constante actualización en cuanto a nuevos métodos de curado y aplicación de aditivos para reducir al máximo la generación de fisuras en el concreto plástico (retracción hidráulica y por asentamiento, los más frecuentes). En esta investigación se propone una alternativa técnica para reducir las fisuras en el concreto plástico que consiste en el uso de fibras sintéticas de polipropileno, estas fibras son inertes no reaccionan con el concreto.

Esta investigación está orientada a las construcciones de pavimentos rígidos, veredas, losas de naves industriales, losas aligeradas, losas macizas, y otras construcciones de áreas extensas.

El aporte de esta investigación está dirigido a los ingenieros, técnicos y personas interesadas en el desarrollo de la construcción, dado que las técnicas, métodos, materiales y equipos empleados en la construcción están en un proceso continuo de desarrollo, cambios y mejoras.

Ing. Carlos A. Barzola Gastelú
Asesor

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 5.1 Tamices standar ASTM.....	34
Tabla N° 5.2 Granulometría del agregado fino.....	34
Tabla N° 5.3 Pesos Retenidos.....	35
Tabla N° 5.4. Análisis Granulométrico del Agregado Fino.....	36
Tabla N° 5.5. Capacidad de los Recipientes.....	38
Tabla N° 5.6. Tamaño de la muestra de agregado.....	43
Tabla N° 5.7. Requisitos granulométricos para el agregado grueso.....	45
Tabla N° 5.8. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global.....	46
Tabla N° 5.9. Pesos Retenidos.....	47
Tabla N° 5.10. Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.....	47
Tabla N° 5.11. Peso mínimo de la muestra de ensayo.....	51
Tabla N° 6.1. PUC del Agregado Global.....	61
Tabla N° 6.2. Propiedades Físicas de los Agregados.....	63
Tabla N° 6.3. Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes asentamientos y TMN.....	64
Tabla N° 6.4. Dosificación de materiales en obra.....	66
Tabla N° 6.5. Asentamientos para diferentes cantidades de agua.....	67
Tabla N° 6.6. Dosificación de materiales con Agua ajustada.....	68
Tabla N° 6.7. Resistencia a la Compresión a los 7 días para diferentes contenidos de Arena.....	68
Tabla N° 6.8. Dosificación del concreto Patrón.....	70
Tabla N° 6.9. Dosificación de concreto con microfibra 200g/m ³	70
Tabla N° 6.10. Dosificación de concreto con microfibra 300g/m ³	71
Tabla N° 6.11. Dosificación de concreto con microfibra 400g/m ³	71
Tabla N° 7.1. Ensayo de Asentamiento.....	72
Tabla N° 7.2. Capacidad de los recipientes de medición.....	74
Tabla N° 7.3. Resultados de laboratorio.....	74
Tabla N° 7.4. Ensayo de peso unitario.....	75
Tabla N° 7.5. Ensayo de fluidez.....	76
Tabla N° 7.6. Ensayo del contenido de aire.....	78
Tabla N° 7.7. Ensayo de exudación.....	79
Tabla N° 7.8. Ensayo del tiempo de fragua.....	81
Tabla N° 7.9. Resistencia a la compresión del concreto patrón.....	84

Tabla N° 7.10. Resistencia a la compresión del concreto con fibra ultrafina 200 g/m ³	85
Tabla N° 7.11. Resistencia a la compresión del concreto con fibra ultrafina 300 g/m ³	86
Tabla N° 7.12. Resistencia a la compresión del concreto con fibra ultrafina 400 g/m ³	87
Tabla N° 7.13. Resistencia a la tracción por compresión diametral a los 7 días.	88
Tabla N° 7.14. Resistencia a la tracción por compresión diametral a los 28 días	89
Tabla N° 7.15. Ensayo del módulo de elasticidad a los 28 días	91
Tabla N° 7.16. Cantidad de fisuras superficiales y laterales en el concreto patrón	96
Tabla N° 7.17. Fisuras superficiales y laterales con longitudes y anchos promedios del concreto patrón	97
Tabla N° 7.18. Cantidad de fisuras superficiales y laterales en el concreto con fibra ultrafina 200g/m ³	100
Tabla N° 7.19. Fisuras superficiales y laterales con longitudes y anchos promedios del concreto con fibra ultrafina 200 g/m ³	101
Tabla N° 7.20. Cantidad de fisuras superficiales y laterales en el concreto con fibra ultrafina 300 g/m ³	104
Tabla N° 7.21. Fisuras superficiales y laterales con longitudes y anchos promedios del concreto con fibra ultrafina 300 g/m ³	105
Tabla N° 7.22. Cantidad de fisuras superficiales y laterales en el concreto con fibra ultrafina 400 g/m ³	108
Tabla N° 7.23. Fisuras superficiales y laterales con longitudes y anchos promedios del concreto con fibra ultrafina 400 g/m ³	109
Tabla N° 8.1. Variación porcentual de los asentamientos respecto al concreto patrón.	113
Tabla N° 8.2. Variación porcentual de los pesos unitarios respecto al concreto patrón	114
Tabla N° 8.3. Variación porcentual de la fluidez respecto al concreto patrón ...	115
Tabla N° 8.4. Variación porcentual del contenido del aire respecto al concreto patrón	116
Tabla N° 8.5. Variación porcentual de la exudación con respecto al concreto patrón	117

Tabla N° 8.6. Variación porcentual del tiempo de fragua inicial con respecto al concreto patrón.....	118
Tabla N° 8.7. Variación porcentual del tiempo de fragua final con respecto al concreto patrón.....	118
Tabla N° 8.8. Variación porcentual de la resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón a los 7 días.....	120
Tabla N° 8.9. Variación porcentual de la resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón a los 28 días.....	121
Tabla N° 8.10. Variación porcentual de la resistencia a la tracción por compresión diametral con respecto al concreto patrón a los 7 días.....	123
Tabla N° 8.11. Variación porcentual de la resistencia a la tracción por compresión diametral con respecto al concreto patrón a los 28 días.....	124
Tabla N° 8.12. Variación porcentual del módulo de elasticidad con respecto al concreto patrón.....	125
Tabla N° 8.13. Cantidad de fisuras en la muestra del concreto patrón.....	127
Tabla N° 8.14. Cantidad de fisuras en la muestra del concreto con fibra ultrafina 200g/m ³	128
Tabla N° 8.15. Cantidad de fisuras en la muestra del concreto con fibra ultrafina 300g/m ³	129
Tabla N° 8.16. Cantidad de fisuras en la muestra del concreto con fibra ultrafina 400g/m ³	130
Tabla N° 8.17. Cantidad de fisuras superficiales y laterales.....	130
Tabla N° 8.18. Fisuras superficiales y laterales del concreto patrón y concretos con fibra ultrafina.....	132

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N° 5.1. Curva Granulométrica del Agregado Fino.....	36
Gráfico N° 5.2. Curva Granulométrica del Agregado Grueso	48
Gráfico N° 6.1. Peso Unitario Compactado del Agregado Global.....	61
Gráfico N° 6.2. Variación del asentamiento con respecto al agua de mezcla.....	67
Gráfico N° 6.3. Resistencia a la Compresión para diferentes combinaciones de Arena y Piedra.....	69
Gráfico N° 6.4: Superposición de la Resistencia a la Compresión a los 7 días y PUC.....	69
Gráfico N° 7.1. Ensayo de Asentamiento.....	73
Gráfico N° 7.2. Ensayo de peso unitario	75
Gráfico N° 7.3. Ensayo de fluidez	76
Gráfico N° 7.4. Ensayo del contenido de aire.....	78
Gráfico N° 7.5. Ensayo de exudación	80
Gráfico N° 7.6. Tiempo de fragua inicial para concreto patrón y concretos con fibras	82
Gráfico N° 7.7. Tiempo de fragua final para concreto patrón y concretos con fibras	82
Gráfico N° 7.8. Resistencia a la compresión del concreto patrón.....	84
Gráfico N° 7.9. Resistencia a la compresión del concreto con fibra ultrafina 200g/m ³	85
Gráfico N° 7.10. Resistencia a la compresión del concreto con fibra ultrafina 300 g/m ³	86
Gráfico N° 7.11. Resistencia a la compresión del concreto con fibra ultrafina 400 g/m ³	87
Gráfico N° 7.12. Resistencia a la tracción por compresión diametral a los 7 días	89
Gráfico N° 7.13. Resistencia a la tracción por compresión diametral a los 28 días	90
Gráfico N° 7.14. Longitud promedio de fisuras superficiales del concreto patrón	98
Gráfico N° 7.15. Ancho promedio de fisuras superficiales del concreto patrón ..	98
Gráfico N° 7.16. Longitud promedio de fisuras laterales del concreto patrón	99
Gráfico N° 7.17. Ancho promedio de fisuras laterales del concreto patrón.....	99

Gráfico N° 7.18. Longitud promedio de fisuras superficiales del concreto con fibra ultrafina 200g/m ³	102
Gráfico N° 7.19. Ancho promedio de fisuras superficiales del concreto con fibra ultrafina 200 g/m ³	102
Gráfico N° 7.20. Longitud promedio de fisuras laterales del concreto con fibra ultrafina 200 g/m ³	103
Gráfico N° 7.21. Ancho promedio de fisuras laterales del concreto con fibra ultrafina 200 g/m ³	103
Gráfico N° 7.22. Longitud promedio de fisuras superficiales del concreto con fibra ultrafina 300 g/m ³	106
Gráfico N° 7.23. Ancho promedio de fisuras superficiales del concreto con fibra ultrafina 300 g/m ³	106
Gráfico N° 7.24. Longitud promedio de fisuras laterales del concreto con fibra ultrafina 300 g/m ³	107
Gráfico N° 7.25. Ancho promedio de fisuras laterales del concreto con fibra ultrafina 300 g/m ³	107
Gráfico N° 7.26. Longitud promedio de fisuras superficiales del concreto con fibra ultrafina 400 g/m ³	110
Gráfico N° 7.27. Ancho promedio de fisuras superficiales del concreto con fibra ultrafina 400 g/m ³	110
Gráfico N° 7.28. Longitud promedio de fisuras laterales del concreto con fibra ultrafina 400 g/m ³	111
Gráfico N° 7.29. Ancho promedio de fisuras laterales del concreto con fibra ultrafina 400 g/m ³	111
Gráfico N° 8.1. Variaciones de los asentamientos respecto del concreto patrón	113
Gráfico N° 8.2. Variación porcentual de los pesos unitarios respecto al concreto patrón	114
Gráfico N° 8.3. Variación porcentual de la fluidez respecto al concreto patrón	115
Gráfico N° 8.4. Variación porcentual del contenido del aire respecto al concreto patrón	116
Gráfico N° 8.5. Variación porcentual de la exudación con respecto al concreto patrón	117
Gráfico N° 8.6. Variación porcentual del tiempo de fragua inicial con respecto al concreto patrón.....	119

Gráfico N° 8.7. Variación porcentual del tiempo de fragua final con respecto al concreto patrón.....	119
Gráfico N° 8.8. Variación porcentual de la resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón a los 7 días.....	121
Gráfico N° 8.9. Variación porcentual de la resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón a los 28 días.....	122
Gráfico N° 8.10. Variación porcentual de la resistencia a la tracción por compresión diametral con respecto al concreto patrón a los 7 días.....	123
Gráfico N° 8.11. Variación porcentual de la resistencia a la tracción por compresión diametral con respecto al concreto patrón a los 28 días.....	124
Gráfico N° 8.12. Variación porcentual del módulo de elasticidad con respecto al concreto patrón.....	125
Gráfico N° 8.13. Cantidad de fisuras superficiales en el concreto patrón y concretos con fibra ultrafina.....	131
Gráfico N° 8.14. Cantidad de fisuras laterales en el concreto patrón y concretos con fibra ultrafina.....	131
Gráfico N° 8.15. Longitud de fisuras superficiales del concreto patrón y concretos con fibra ultrafina.....	132
Gráfico N° 8.16. Ancho de fisuras superficiales del concreto patrón y concretos con fibra ultrafina.....	133
Gráfico N° 8.17. Longitud de fisuras laterales del concreto patrón y concretos con fibra ultrafina.....	133
Gráfico N° 8.18. Ancho de fisuras laterales del concreto patrón y concretos con fibra ultrafina.....	134

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 3.1. Típica fisuración por retracción plástica	25
Figura N° 3.2. Fisura frecuente en esquinas de ventanas y puertas	26
Figura N° 7.1. Molde para la prueba de tendencia al agrietamiento.....	92
Figura N° 7.2. Anillo de contracción (Izquierda: proceso de llenado; Derecha: lleno de concreto).....	93
Figura N° 7.3. Moldes con concreto expuestos al sol en la azotea de LEM	94
Figura N° 7.4. Desmoldado del anillo exterior y la base para el curado de la muestra	94
Figura N° 7.5. Microscopio AMCap para visualizar fisuras.....	95
Figura N° 7.6. Fisuras superficiales y laterales enumeradas.....	96
Figura N° 7.7. Fisura superficial del concreto patrón, captada con el microscopio AMCap	97
Figura N° 7.8. Fisura lateral del concreto patrón, captada con el microscopio AMCap	97
Figura N° 7.9. Fisuras superficiales y laterales enumeradas.....	100
Figura N° 7.10. Fisura superficial del concreto con fibra ultrafina 200 g/m ³ , captada con el microscopio AMCap	101
Figura N° 7.11. Fisura lateral del concreto con fibra ultrafina 200 g/m ³ , captada con el microscopio AMCap	101
Figura N° 7.12. Fisuras superficiales y laterales enumeradas.....	104
Figura N° 7.13. Fisura superficial del concreto con fibra ultrafina 300 g/m ³ , captada con el microscopio AMCap	105
Figura N° 7.14. Fisura lateral del concreto con fibra ultrafina 300 g/m ³ , captada con el microscopio AMCap	105
Figura N° 7.15. Fisuras superficiales y laterales enumeradas.....	108
Figura N° 7.16. Fisura superficial del concreto con fibra ultrafina 400 g/m ³ , captada con el microscopio AMCap	109
Figura N° 7.17. Fisura lateral del concreto con fibra ultrafina 400 g/m ³ , captada con el microscopio AMCap	109
Figura N° 8.1. Fisuras superficiales y laterales en la muestra del concreto patrón en el anillo de contracción.	126
Figura N° 8.2. Fisurómetros usados para medir longitud y ancho de fisuras....	127
Figura N° F.0.1. Agregado grueso (izquierda) agregado fino (derecha).....	199

Figura N°F.0.2. Horno usado para secar los agregados	199
Figura N°F.0.3. Granulometría del agregado grueso.	200
Figura N°F.0.4. PUS (izquierda) y PUC (derecha) del agregado fino.....	200
Figura N° F.0.5.Saturado del agregado grueso para el ensayo del peso específico.	201
Figura N° F.0.6. Agregado fino en condición saturada.....	201
Figura N° F.0.7. Ensayo para determinar la condición saturada superficialmente seca de la arena	202
Figura N° F.0.8. Ensayo de peso específico del agregado fino.....	202
Figura N° F.0.9. Preparación del concreto fresco.	203
Figura N° F.0.10. Preparación del concreto con fibra ultrafina	203
Figura N° F.0.11. Ensayo de asentamiento (izquierda) y ensayo de peso unitario (derecha).	204
Figura N° F.0.12. Ensayo de fluidez del concreto	204
Figura N° F.0.13. Ensayo del contenido de aire con olla Washington.	205
Figura N° F.0.14. Ensayo del contenido de aire con olla Washington.	205
Figura N° F.0.15. Ensayo de exudación.....	206
Figura N° F.0.16. Ensayo del tiempo de fragua.	206
Figura N° F.0.17. Elaboración y curado de probetas y anillos de contracción. .	207
Figura N° F.0.18. Ensayo de la resistencia a la compresión.	207
Figura N° F.0.19. Montaje del equipo para el ensayo del módulo elástico.	208
Figura N° F.0.20. Ensayo del módulo elástico.	208
Figura N°F.0.21. Llenado del molde de anillo de contracción restringida.....	209
Figura N° F.0.22. Llenado y traslado de los moldes de anillo de contracción a la azotea de LEM.	209
Figura N° F.0.23. Exposición al Sol de los moldes de anillo de contracción.....	210
Figura N° F.0.24. Desmoldado y curado de los especímenes del anillo de contracción.	210
Figura N° F.0.25. Conteo de fisuras superficiales	211
Figura N°F.0.26. Conteo de fisuras laterales.	211
Figura N° F.0.27. Medición y visualización de fisuras superficiales y laterales.	212
Figura N° F.0.28. Fisuras superficial y lateral del concreto captada con el microscopio AMCap.....	212
Figura N° F.0.29. Fisura superficial del concreto con fibra ultrafina 400 g/m ³ , captada con el microscopio AMCap.....	213

Figura N° F.0.30. Fisura lateral del concreto con fibra ultrafina 400 g/m³, captada con el microscopio AMCap 213

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- ACI: American Concrete Institute.
- ASTM: American Society for Testing and Materials.
- a/c: Relación de agua y cemento.
- a/p: Relación de arena y piedra.
- CH: Contenido de humedad.
- E: Módulo de elasticidad
- MF: Módulo de finura
- NTP: Norma Técnica Peruana.
- PEm: Peso específico de masa.
- PU: Peso unitario.
- PUC: Peso unitario compactado.
- PUS: Peso unitario suelto.
- TM: Tamaño máximo.
- TMN: Tamaño máximo nominal.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

Las civilizaciones antiguas siempre estuvieron preocupadas por el desarrollo y mejora de sus técnicas y materiales de construcción, para resolver o reducir los problemas que se presentaban en la construcción de sus casas, iglesias y construcciones en general. Uno de los problemas que tuvieron que enfrentar fue las fisuras que se generan por secado de sus materiales de construcción, en la antigüedad los materiales más usados eran la piedra, barro y maderas.

Las construcciones con adobe datan desde milenios antes de cristo, como por ejemplo el antiguo Egipto donde se usó frecuentemente el adobe elaborado con limo del rio Nilo. En el Perú tenemos la ciudad de barro más grande de América, la ciudadela de Chan Chan que pertenece a la cultura Chimú y la Ciudad Sagrada de Caral considerada como el asentamiento humano más antiguo de América Latina construido también con adobe; también se usaron en otros países del mundo como España, México, Colombia, etc. En la elaboración de los adobes se agregaron pajas o pastos secos para evitar que se agrieten al secar.

Las construcciones también fueron hechas a base de tapial, pared que se construye con tierra amasada de tierra arcillosa húmeda compactada a golpes con un pisón o mazo dentro de un encofrado de madera, según algunas fuentes su origen data desde el Neolítico, también fue usado este método en la China un claro ejemplo es que la mayor parte de la Gran Muralla China está construida con el Tapial. Los Romanos basaron sus construcciones de paredes con barro arcilloso húmedo mezclado con paja para evitar fisuraciones en la fase de secado, fueron los que innovaron el método y de esta manera redujeron las fisuras.

Después de la caída del imperio Romano el concreto se dejó de usar, pero a partir del siglo XIX se empieza a usar después de patentar el cemento Portland, luego cuando aparece el Clinker se empieza a fabricar el cemento moderno. El concreto es masivamente utilizado en la actualidad en diferentes tipos de obras civiles como también militares, debido a la facilidad que presenta el concreto en estado fresco para amoldarse a cualquier forma y cuando endurece tiene alta resistencia a la compresión; pero aún con esas características favorables que presenta el concreto, se pueden generar algunos problemas en la colocación, fraguado o en estado endurecido. El hombre siempre ha buscado la manera de resolver o reducir los problemas a través de investigaciones, uno de esos problemas son las fisuras

que se generan en el concreto durante su fraguado e incluso en estado endurecido, el problema de las fisuras se ha manifestado en diferentes materiales que el hombre ha usado a lo largo de la historia.

1.2. PROBLEMÁTICA

Las fisuras, de acuerdo a su momento de ocurrencia pueden originarse en la etapa del concreto fresco o estado plástico, es decir, antes de finalizar el fraguado, o a partir de finalizado el fraguado, o sea, durante la etapa de endurecimiento del concreto.

Las fisuras en el concreto en estado plástico ocurren por diversos factores, como por la acción del aire seco, la temperatura elevada como sucede en épocas de verano en la ciudad de Lima, la velocidad del viento y la humedad relativa. Es muy común observar fisuras que se generan en los vaciados de techos de viviendas, veredas, losas deportivas y en general estructuras de grandes superficies; en esta investigación se propone reducir las formaciones de fisuras usando fibras de polipropileno.

Las fisuras en el concreto se observan en diferentes proyectos de ingeniería. A algunos proyectos los afectan estéticamente (fisuras en los muros de tabiquería internas y/o fachadas de edificios), pero en otros tipos de proyectos (presas, canales de irrigación, centrales nucleares, reservorios, piscinas, pavimentos rígidos, pilares de puentes, etc.) las fisuras pueden encadenar una serie de problemas de mayor índole como las filtraciones, facilitan la carbonatación, que posteriormente generan la corrosión de sus refuerzos de acero. Al ser la corrosión un proceso electroquímico produce óxidos e hidróxidos de hierro que aumentan el diámetro, este aumento provoca tensiones radiales de estallido alrededor de las barras.

Por ende, se tiene que reducir y/o controlar la formación espontánea de las fisuras. Una alternativa es usar las fibras de polipropileno para reducir el agrietamiento por contracción plástica, porque controla la formación de grietas intrínsecas en el concreto y proporciona un refuerzo tridimensional contra el micro agrietamiento.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

- Estudiar el comportamiento del concreto con fibras de polipropileno (Chema Fibra Ultrafina) y cemento Portland tipo I para a/c : 0.60.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Estudiar los efectos en el concreto patrón y concreto con fibras de polipropileno (Chema Fibra Ultrafina).
- Cuantificar las fisuras en el concreto patrón y concreto con fibras de polipropileno en el estado plástico.

1.4. HIPÓTESIS

Las fibras de polipropileno, Chema Fibra Ultrafina, benefician al concreto tanto en estado plástico como endurecido. Reducen las grietas causadas por contracción plástica (fisuras originadas en el estado plástico) y controlan la aparición de fisuras durante la vida útil de la estructura.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO

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 asentamiento plástico y contracción plástica, mientras que, en estado endurecido, por la contracción térmica inicial, retracción hidráulica, retracción por secado. 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. 2004).

Las fibras en la construcción se han venido usando desde hace muchos años. Existen innumerables evidencias arqueológicas que dan fe de que en Babilonia y en Egipto las fibras vegetales se combinaron con mezclas de arcilla para fabricar elementos estructurales. Sin embargo, con el paso del tiempo esta técnica cayó en desuso, hasta que a principios del siglo XX se retomó, primero con un enfoque empírico y más tarde con fines de investigación.

Desde tiempos atrás, las fibras han sido usadas para reforzar materiales rígidos, la paja fue usada para reforzar ladrillos de adobe, y la crin de caballo fue usada para reforzar morteros de mampostería, incluso una casa edificada en el viejo oeste en los Estados Unidos alrededor de 1540, está construida con elementos de adobe secado al sol reforzados con paja (ACI 544, 2002, p 2).

Nuevas investigaciones han abierto la posibilidad de utilizar otros materiales en el concreto reforzado con fibras, como son las fibras de polipropileno, las microesferas de poliestireno, la fibra de vidrio y los polímeros, los cuales pueden agregarse al concreto en la planta dosificadora o bien en la revolvedora cuando ésta haya llegado a la obra, después de que se obtiene el revenimiento.

CAPÍTULO III. CONTRACCIÓN EN EL CONCRETO

3.1. DEFINICIÓN

El concreto después de su colocado siempre tiende a contraerse, en mayor medida durante el periodo de fraguado, pero también se contrae en el estado endurecido a lo largo de su vida útil. Durante la contracción del concreto el volumen de la mezcla se reduce debido a la evaporación y consumo de agua en la reacción del cemento como también por un reacomodo de las partículas del concreto; pero el secado no ocurre de manera homogénea en todo el volumen, la superficie expuesta se seca generando una reducción en el área expuesta pero el núcleo no reduce su volumen en la misma proporción, de esta manera se generan esfuerzos internos de tracción cerca de la superficie que finalmente provocan fisuras ya que el concreto tiene baja resistencia a la tracción y peor aún en estado plástico.

El concreto en los primeros días después del fraguado (estado sólido) posee baja resistencia a la tracción, por lo tanto, aun es susceptible al agrietamiento. El principal causante de las fisuras son los esfuerzos de tracción que se generan por cambios volumétricos tanto en estado fresco como en estado endurecido, la fisuras en el concreto atentan contra la continuidad, durabilidad, vida útil y estética de las estructuras de concreto, y el impacto de la presencia de las fisuras será de acuerdo al uso a la que está destinada la estructura.

La fisuración del concreto es atribuible a numerosas causas. Las fisuras pueden sólo afectar la apariencia de una estructura, pero también pueden indicar fallas estructurales significativas o falta de durabilidad. Las fisuras pueden representar la totalidad del daño, pero también pueden señalar problemas de mayor magnitud. Su importancia depende del tipo de estructura, como así también de la naturaleza de la fisuración. Por ejemplo, fisuras que pueden ser aceptables para un edificio residencial pueden no serlo para una estructura para almacenamiento de líquidos. (ACI 224.1R, 1993, p.2).

3.2. CONTRACCIÓN EN CONCRETO FRESCO

3.2.1. Fisuración por retracción plástica

La fisuración por contracción plástica (ver Figura N°3.1) se produce cuando el concreto fresco está expuesta a una rápida pérdida de humedad generada por la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento en la superficie del concreto.

Si la humedad se evapora de la superficie del concreto recién colocado más rápido de lo que puede ser reemplazada por el agua de exudación, el concreto superficial se contrae. Debido a la restricción proporcionada por el concreto debajo de la capa superficial que se seca, en el concreto débil, plástico y en proceso de fraguado se desarrollan tensiones de tracción que provocan fisuras poco profundas, pero de profundidad variable, que pueden formar un patrón poligonal aleatorio, o bien pueden aparecer básicamente paralelas unas a otras. Estas fisuras a menudo son bastante anchas en la superficie. Su longitud varía entre pocos milímetros y más de un metro, y su separación puede ser de pocos milímetros o de hasta 3 m. Las fisuras por retracción plástica comienzan como fisuras de poca profundidad, pero pueden convertirse en fisuras cuya profundidad abarque la totalidad de la altura del elemento. (ACI 224.1R, 1993, p.2).

Las fisuras por retracción o contracción plástica son frecuentes e importantes en zonas secas o con mucho sol. Aparecen tardíamente, en meses, incluso años. Pueden tener formas de polígono regular, pero también pueden aparecer paralelas unas a otras.

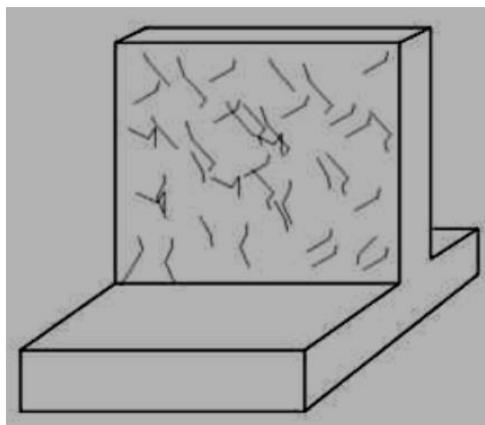


Figura N° 3.1. Típica fisuración por retracción plástica

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2. Fisuración por asentamiento de los agregados

Después de colocación del concreto, vibrado y acabado, el concreto tiende a seguir consolidándose. Durante el periodo de asentamiento el concreto puede estar restringido por las armaduras o por los encofrados. Estas restricciones localizadas pueden generar vacíos y/o fisuras cercanas al elemento de restricción. El grado de fisuración por asentamiento se puede intensificar si el vibrado es insuficiente o por movimiento del encofrado. Frecuentes en las esquinas de huecos de muros (ver figura N°3.2) y en uniones viga columna o placa muro, cuando el concreto es vaciado conjuntamente.



Figura N° 3.2. Fisura frecuente en esquinas de ventanas y puertas

Fuente: Centro de investigación en gestión integral de riesgos

3.3. CONTRACCIÓN EN CONCRETO ENDURECIDO

3.3.1. Retracción por secado

La retracción por secado es producida por la pérdida de humedad de la pasta de cemento lo cual puede contraer su volumen hasta en 1%, pero la presencia de los agregados restringe tal reducción del volumen. Cuando el concreto se humedece tiende a expandirse.

En concretos vaciados en grandes proporciones se generan tensiones de tracción provocadas por la retracción diferencial entre el concreto de la superficie y el concreto del interior de la masa. La mayor contracción en la superficie provoca el desarrollo de fisuras, con el tiempo las fisuras vivas podrían profundizar.

La magnitud de la retracción por secado depende de la cantidad y tipo de agregados y del contenido de agua de la mezcla, cuanto mayor sea la

cantidad de agregados, menor será la retracción. Cuanto mayor sea el contenido de agua, mayor será la retracción por secado. (ACI 224.1R, 1993, p.4).

La retracción por secado se puede reducir aumentando la cantidad de agregados y reduciendo el contenido de agua.

3.3.2. Tensiones de origen térmico

Las variaciones de la temperatura en el concreto, pueden ser generadas por pérdida de calor de hidratación a diferentes velocidades en diferentes partes del concreto vaciado o por condiciones climáticas que enfrían o calientan de manera heterogénea; estas variaciones de temperatura en el concreto producen cambios volumétricos que inducen esfuerzos de tensión. Si las tensiones generadas superan la capacidad de deformación por tracción del concreto, entonces se fisurará. Las diferenciales de temperatura provocados por diferentes tasas de disipación del calor de hidratación solo afectan al concreto masivo (estructuras con relación volumen/área superficial expuesta muy grande), pero los diferenciales de temperatura provocados por condiciones climáticas pueden afectar a cualquier estructura.

La fisuración del concreto masivo se puede deber a una temperatura en la superficie de la masa mayor que la temperatura en el interior de la misma. El gradiente de temperatura puede ocurrir ya sea porque la parte central del hormigón se calienta más que la parte exterior por el calor liberado durante el proceso de hidratación del cemento, o bien por un enfriamiento más rápido del exterior respecto del interior del concreto. En ambos casos se originan esfuerzos de tracción en el exterior y, si estas tensiones superan la resistencia a la tracción, habrá fisuración. (ACI 224.1R, 1993, p.4).

3.3.3. Prácticas constructivas inadecuadas

Existen una gran variedad de prácticas constructivas inadecuadas que puede hacer que se fisure el concreto, la practica errónea más extendida es la costumbre de agregarle agua al concreto para mejorar su trabajabilidad. El agua agregada es perjudicial primero porque reduce la resistencia, aumente el asentamiento, pero aumenta la retracción por secado. Si se agrega cemento aun manteniendo

constante la relación agua/cemento, la retracción aumentara porque aumentara el volumen relativo de pasta. La falta de curado aumentara la tendencia a la fisuración o al terminar el curado cuando el concreto aún tiene baja resistencia permitirá mayor contracción. La falta de hidratación óptima del cemento por curado hará que el concreto baje su resistencia a largo plazo y también reduzca su durabilidad.

Otros problemas constructivos que pueden generar fisuración en el concreto son apoyos inadecuados para los encofrados, mala compactación y la colocación de juntas de contracción en puntos de elevada tensión (pueden provocar una abertura de las juntas).

CAPÍTULO IV. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CONTRACCIÓN DEL CONCRETO

4.1. FACTORES INTERNOS

4.1.1. Cementos

El tipo de cemento usado en el concreto induce a la generación de las fisuras, esta capacidad depende directamente del módulo de finura del cemento, siempre y cuando se compare cementos producidos con un mismo tipo de Clinker. A medida que aumenta la finura del cemento la mezcla necesita consumir mayor cantidad de agua de mezclado y pierde menos agua al secar, esto se debe a la presencia de la mayor cantidad de granos activos que reaccionaran con el agua dejando menos agua libre que pueda evaporarse y a al aumento de la impermeabilidad por el cemento de mayor finesa.

Existen estudios, que indican que no es posible a priori aseverar que un cemento que cumple con los requerimientos standard para un tipo de cemento Portland tendrá mayor o menor contracción que otro cemento que cumple con requisitos diferentes. Sin embargo, otros investigadores, han establecido tendencias que indican que en general los cementos Tipo II producen menor contracción que los Tipo I y mucho menor aún que los cementos del tipo III. (Pasquel, 1993, p.245).

4.1.2. Agregados

En la mezcla de concreto la piedra y la arena con la pasta de cemento forman una estructura mixta, por eso las características de los agregados resultan ser importantes en la retracción plástica. La presencia de los agregados en el concreto restringe la contracción inherente de la pasta de cemento, ya que la capacidad de deformación y la adherencia de los agregados con la pasta de cemento son muy importantes en la contracción del concreto. Cuanto mayor es la rigidez del agregado y su módulo de elasticidad, mayor será la reducción de la retracción del concreto.

Al estar el módulo de elasticidad inversamente relacionado con la porosidad y la absorción del agregado, se puede concluir en que los agregados más densos y con baja absorción producen concretos con menor retracción, siendo el efecto inverso con agregados livianos y muy

absorbentes. Por otro lado, la cantidad de agregado en el volumen total del concreto, así como su granulometría tienen influencia primordial en la contracción, puesto que agregados con gradación discontinua ameritan una gran cantidad de cemento para lograr una estructura mixta resistente, y consecuentemente tiene mayor preponderancia la retracción al incrementarse la cantidad de pasta. (Pasquel, 1993, p.247).

4.1.3. Aditivos

Dependiendo del tipo de aditivo que se usa en el concreto el resultado en cuanto a la contracción serán diversas:

En general, los aditivos que contribuyen a reducir el agua de amasado, tienden a colaborar en reducir la contracción, pero este efecto no es muy evidente en la mayoría de los casos. Sin embargo, está demostrado que, en el caso de los superplastificantes, esta reducción sí es significativa, en un orden de magnitud del 30 %.

Los incorporadores de aire, pese a introducir una estructura de vacíos adicional en la mezcla, no incrementan de manera significativa la retracción, con inclusiones de aire hasta del 5%.

Los acelerantes ocasionan un incremento en la contracción por secado que en promedio puede llegar a ser hasta del 50% de la normal, desarrollándose la mayor parte a edades tempranas (7 días) y disminuyendo con el tiempo. Los acelerantes incrementan la temperatura del concreto fresco por la reacción exotérmica con el cemento y consecuentemente los requerimientos de agua en la mezcla y la contracción, por lo que éste es otro de los efectos a tener presentes en el control de la temperatura de la mezcla. (Pasquel, 1993, p.252).

4.1.4. Contenido de agua

El agua en la mezcla de concreto es uno de los factores que más favorece la formación de fisuras en estado fresco y en el estado endurecido, a mayor contenido de agua aumenta la contracción, es decir hay una relación directa entre el contenido de agua y la contracción. Según las tablas para el diseño de mezclas, la cantidad de agua está en relación inversa con el tamaño máximo nominal del agregado, y en relación directa con el asentamiento; se podría plantear que al

diseñar un concreto con piedra de mayor tamaño y con menor asentamiento, pero cumpliendo con requisitos de trabajabilidad, se logra reducir la contracción por secado.

Un concreto con alto contenido de agua tiene una baja resistencia, menor módulo de elasticidad y por lo tanto tiene una mayor tendencia a la contracción. El curado adecuado del concreto es muy importante para la prevención de la pérdida de la humedad del concreto, existen diferentes factores que influyen en el proceso de curado: la humedad relativa, la relación agua/cemento, la porosidad, la temperatura, el viento, tipo de concreto, aditivos y el tiempo de curado.

4.2. FACTORES EXTERNOS

4.2.1. Factores ambientales

Los factores ambientales dependiendo del lugar donde se realiza el vaciado afecta al concreto, el efecto de la temperatura es muy importante, en climas calurosos las altas temperaturas aceleran la pérdida de la humedad por evaporación del agua de exudación de la superficie del concreto y este déficit del agua de diseño hace que se fisure el concreto.

La humedad relativa favorece la retracción ya que a menor presencia de la humedad la evaporación del agua de exudación aumenta, la máxima evaporación y por ende la mayor contracción ocurre para una humedad relativa del 50%. La contracción es despreciable para valores de humedad relativa cercanas al 100% o por debajo de los 25%.

La velocidad del viento mayores a 5 m/s son perjudiciales para el concreto, aumentan la contracción.

4.2.2. Geometría de la estructura

La forma del vaciado de concreto afecta la relación entre el área superficial y el volumen, cuando dicha relación aumenta, la velocidad de secado aumentara. La retracción plástica se presenta en elementos planos como losas aligeradas, losas macizas, pavimentos rígidos, veredas, donde la dimensión en una dirección resulta poco significativa respecto a las otras. Estos elementos planos al estar expuestas a condiciones atmosféricas pierden humedad con mayor facilidad y

sufren contracciones en la superficie que generan fisuras cortas y de poca profundidad.

Los elementos grandes y de mayor sección se secan en mayor tiempo, pero los elementos pequeños y delgados se secan con más facilidad; por eso la contracción del concreto de gran tamaño será menor que la contracción de los elementos pequeños.

CAPÍTULO V. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

5.1. AGREGADO FINO

5.1.1. Definición

Es el agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 74 μ m (N° 200); deberá cumplir con los límites establecidos en la norma NTP400.037. (NTP400.037, 2014, p.7).

5.1.2. Granulometría (NTP 400.012)

Es la distribución de las partículas por su tamaño de una muestra representativa de agregados, se determina mediante un análisis granulométrico que consiste en dividir por tamizado una muestra de agregado en fracciones de igual tamaño de partículas para luego pesar los materiales retenidos y pasarlos en porcentajes con respecto al peso total.

Los valores obtenidos del análisis granulométrico se grafican en un sistema de coordenadas semi-logarítmico, en el eje de las ordenadas el porcentaje que pasa (en escala aritmética); y en las abscisas la abertura de los tamices en escala logarítmica.

La serie de tamices estándar ASTM para concreto tiene la particularidad de que empieza por el tamiz de abertura cuadrada 3" y el siguiente tiene una abertura igual a la mitad de la anterior. A partir de la malla 3/8" se mantiene la misma secuencia, pero el nombre de las mallas se establece en función del número de aberturas por pulgada cuadrada (ver Tabla N°5.1). (Pasquel, 1993, p.90).

Tabla N° 5.1 Tamices standar ASTM

Denominación del Tamiz	Abertura (pulg)	Abertura (mm)
3"	3.0000	75.0000
1 1/2"	1.5000	37.5000
3/4"	0.7500	19.0000
3/8"	0.3750	9.5000
N°4	0.1870	4.7500
N°8	0.0937	2.3600
N°16	0.0469	1.1800
N°30	0.0234	0.5900
N°50	0.0117	0.2950
N°100	0.0059	0.1475
N°200	0.0029	0.0737

Fuente: Norma ASTM C 33

El agregado fino estará gradado dentro de los límites permitidos por la norma NTP 400.037 (ver Tabla N°5.2), estos límites están definidos por los husos granulométricos que representa los rangos en los cuales debe estar comprendido la distribución de partículas más adecuada para la elaboración del concreto.

Tabla N° 5.2 Granulometría del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que Pasa
9.5 mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (N°4)	95 a 100
2.36 mm (N°8)	80 a 100
1.18 mm (N°16)	50 a 85
600 µm (N°30)	25 a 60
300 µm (N°50)	05 a 30
150 µm (N°100)	0 a 10

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP400.037

El porcentaje retenido en dos mallas consecutivas no será mayor a 45%, preferiblemente el módulo de fineza del agregado fino no deberá ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1.

Adicionalmente la granulometría del agregado fino deberá:

- Mantener suficiente cantidad de material que pasa la malla N°50 a fin de obtener en el concreto adecuada trabajabilidad, especialmente en mezclas con pastas pobres.

- Tener un máximo de 3% a 5 % de material que pasa la malla N°200.
- Emplear un agregado grueso con poco o ningún material en las mallas N°4 y N°8 en aquellos casos en que el agregado fino tiene un porcentaje importante en dichas mallas, a fin de evitar un concreto áspero, granuloso y de acabado difícil.

5.1.2.1 Granulometría del agregado fino

Procedimiento:

- Se separó una muestra de unos 4 kg de arena gruesa para tomar 800 g por método de cuarteo.
- Se dejó en horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 horas.
- Se pesó 600 g de muestra seca (la cantidad mínima es de 300g), luego se depositó en las mallas ordenadas desde el tamiz N°4 hasta el recipiente del fondo de la maquina vibradora que tamizo por 90 segundos aproximadamente.
- los materiales retenidos en cada tamiz fueron pesados en una balanza electrónica de 0.1 g de precisión.

El agregado fino utilizado en esta investigación proviene de la cantera de Huaycán ubicado en el distrito de Ate. El ensayo de granulometría se hizo tres veces como se muestra en la Tabla N°5.3

Muestra: Arena Gruesa

Cantera: Huaycán

Peso seco de la muestra: 600 g

Tabla N° 5.3 Pesos Retenidos

Abertura de Tamiz		Muestra 1 (g)	Muestra 2 (g)	Muestra 3 (g)	Promedio (g)
Diámetro(Ø)	(mm)				
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	0.0
N° 4	4.750	24.1	25.3	22.6	24.0
N° 8	2.360	119.1	120.2	117.7	119.0
N° 16	1.180	146.6	144.3	148.6	146.5
N° 30	0.600	127.7	125.9	129.5	127.7
N° 50	0.300	94.2	94.4	94.0	94.2
N° 100	0.150	51.4	51.5	51.0	51.3
< N° 100	Fondo	36.9	38.4	36.6	37.3
	Total	600.0	600.0	600.0	600.0

Fuente: Elaboración Propia

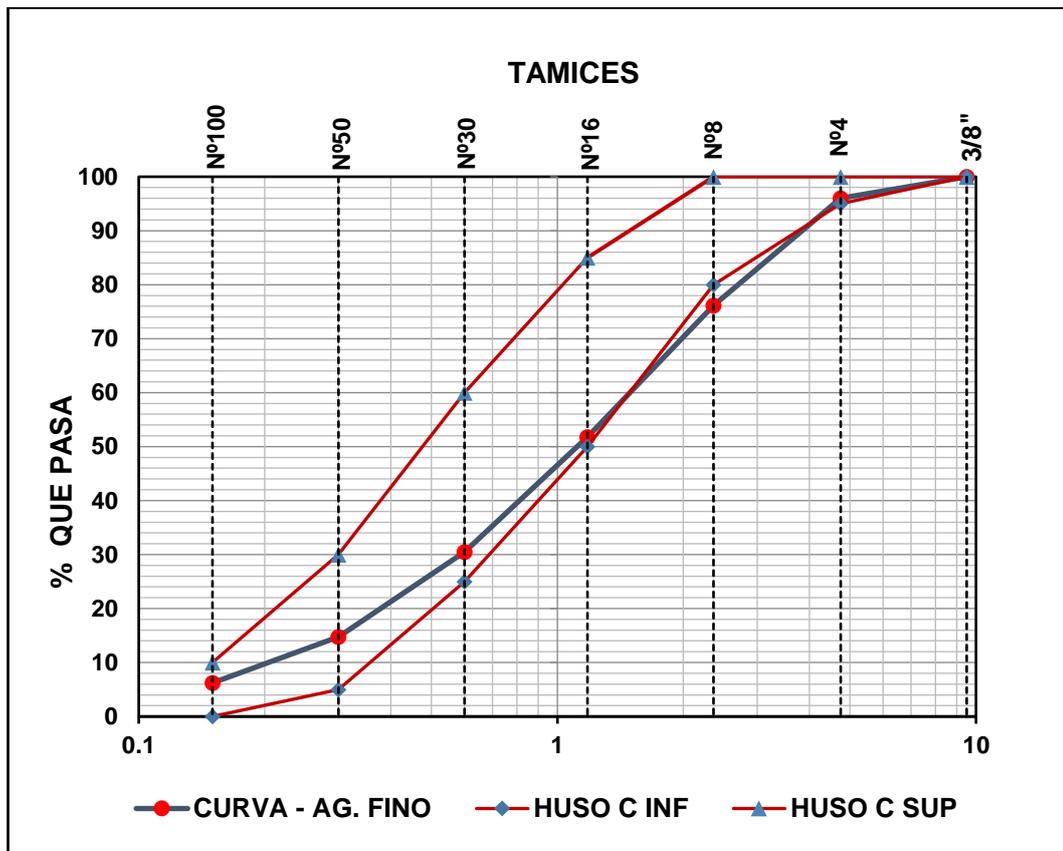
Análisis granulométrico del promedio de los tres ensayos.

Tabla N° 5.4. Análisis Granulométrico del Agregado Fino

Abertura de Tamiz		Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa
Diámetro(Ø)	(mm)				
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0
N° 4	4.750	24.0	4.0	4.0	96.0
N° 8	2.360	119.0	19.8	23.8	76.2
N° 16	1.180	146.5	24.4	48.3	51.8
N° 30	0.600	127.7	21.3	69.5	30.5
N° 50	0.300	94.2	15.7	85.2	14.8
N° 100	0.150	51.3	8.6	93.8	6.2
< N° 100	Fondo	37.3	6.2	100.0	0.0
	Total	600.0	100.0	MF = 3.25	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.1. Curva Granulométrica del Agregado Fino



Fuente: Elaboración Propia

5.1.3. Módulo de Finura

El módulo de finura es un valor empírico que permite estimar que tan fino o grueso es un material, los agregados que presentan un bajo valor de módulo de fineza indican que tienen mayor cantidad de partículas más finas, que tendrán mayor superficie total que deberá ser cubierta por la pasta de cemento, por lo tanto, será necesario agregar más agua; ocurre lo contrario con los agregados que tienen mayor valor del módulo de finura, ósea será menor la demanda de agua por área superficial.

El módulo de finura se puede calcular para cualquier material, generalmente se determina para el agregado fino. Se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas de: 3"; 1 1/2"; 3/4"; 3/8"; N°4; N°8; N°16; N°30; N°50; y N°100, dividida por 100.

$$MF = \frac{\sum \% (3" + 1\ 1/2" + 3/4" + 3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

Para el cálculo del módulo de finura del agregado fino se tomará los tamices desde el N°100 hasta 3/8".

$$MF = 3.25$$

5.1.4. Peso Unitario del Agregado Fino (NTP 400.017)

Se denomina peso unitario o peso volumétrico, ya sea suelto o compactado, el peso del material necesario para llenar un recipiente de volumen unitario; además del volumen de las partículas del agregado se tiene en cuenta el volumen de vacíos que existe entre las partículas.

El peso unitario varía con el contenido de humedad. En el agregado grueso incrementos en el contenido de humedad incrementan el peso unitario. En el agregado fino incrementos más allá de la condición de saturado superficialmente seco pueden disminuir el peso unitario debido a que la película superficial de agua origina que las partículas estén juntas facilitando la compactación con incremento en el volumen y disminución del peso unitario. Cuanto mayor es el peso específico para una granulometría dada mayor será el peso específico del concreto. (Rivva,2004, p.152).

El peso unitario compactado se emplea en algunos métodos de dosificación de mezclas y el peso unitario suelto sirve para estimar la cantidad de agregados a comprar en volumen suelto.

5.1.4.1 Peso Unitario Suelto (PUS)

- Se dejó secar una muestra de agregado fino en un horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas
- Se llena el molde dejando caer suavemente el agregado fino seco desde una altura no mayor de 2 pulgadas sobre la parte superior del molde.
- Se enrasa la superficie del material con una varilla de apisonado lisa de acero, redondeada de $5/8''$ de diámetro y 60 cm de longitud. La capacidad del molde será escogida de acuerdo a la Tabla N°5.5

Tabla N° 5.5. Capacidad de los Recipientes

TNM del Agregado		Capacidad del Recipiente	
mm	pulg	m ³	pie ³
12.5	1/2	0.0028	1/10
25	1	0.0093	1/3
37.5	1 1/2	0.0140	1/2
75	3	0.0280	1
100	4	0.0700	2 1/2
125	5	0.1000	3 1/2

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.017

$$P.U.S. = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

Los cálculos se detallan en la a continuación

Muestra: Arena Gruesa

Cantera: Huaycán

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
P. balde(1/10p3)	g	1576.8	1576.8	1576.8
P. muestra suelta+P. balde(1/10p3)	g	5833.3	5831.5	5835.1
P. muestra	g	4256.5	4254.7	4258.3
Vol. balde(1/10p3)	cm ³	2831.69	2831.69	2831.69
Peso unitario suelto	g/cm ³	1.503	1.503	1.504

$$PUS = 1.50333 \text{ g/cm}^3$$

$$PUS = 1503.33 \text{ kg/m}^3$$

5.1.4.2 Peso Unitario Compactado (PUC)

Para este ensayo se usa el mismo recipiente del ensayo anterior, solo variando la forma de llenado. Se llena el recipiente a un tercio del total para luego apisonar con 25 golpes uniformemente distribuidos con la varilla de apisonado (sin golpear el fondo del molde). Llenar el recipiente a los dos tercios del total y apisonar de nuevo con 25 golpes. Finalmente, llenar el recipiente y apisonar de nuevo, nivelar la superficie del agregado luego pesar. Los cálculos se detallan a continuación.

$$PUC = \frac{\text{Peso del material compactado}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

Muestra: Arena Gruesa

Cantera: Huaycán

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
P. balde(1/10p3)	g	1576.8	1576.8	1576.8
P. muestra compactado+P.balde(1/10p3)	g	6436.0	6335.3	6438.1
P. muestra	g	4859.2	4758.5	4861.3
Volumen balde(1/10p3)	cm3	2831.69	2831.69	2831.69
Peso unitario compactado	g/cm3	1.716	1.68	1.717

$$PUC = 1.704 \text{ g/cm}^3$$

$$PUC = 1704.33 \text{ kg/m}^3$$

5.1.5. Peso Específico (NTP 400.022)

Está dado por el cociente entre el peso de las partículas y su respectivo volumen, pero sin considerar los vacíos entre ellas; ósea se refiere a la densidad de las partículas individuales y no a la masa del agregado como un todo.

La Norma Técnica Peruana NTP 400.022 (2013) considera tres tipos de densidad para el agregado fino:

Densidad Secada al Horno (OD). Es la masa de las partículas de agregado seco al horno, por unidad de volumen, de partículas de agregado, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables dentro de las partículas, pero sin incluir los espacios vacíos entre las partículas.

Densidad Saturada Superficialmente Seca (SSD). Es la masa del agregado saturado superficialmente seco, por unidad de volumen de las

partículas de agregado, incluyendo el volumen de poros permeables e impermeables, poros llenos de agua dentro de las partículas, pero sin incluir los espacios vacíos entre las partículas.

Densidad Aparente. Es la masa por unidad de volumen, de la porción impermeable de las partículas del agregado. (p.6).

5.1.5.1. Procedimiento Gravimétrico

- En un recipiente sumergir en agua una muestra aproximada de 1000 g del agregado fino, separado por el método de cuarteo; se dejará saturar la muestra por un periodo de 24 horas.
- Decantar el agua cuidando no perder los finos, extender la muestra sobre una superficie plana no absorbente; remover con frecuencia para garantizar el secado homogéneo o se puede emplear ayuda de una cocina eléctrica para lograr la condición de saturada superficialmente seca con mayor facilidad.
- Hacer la prueba de humedad superficial, colocando el molde tronco cónico sobre una superficie no absorbente, llenar con la muestra del agregado fino suelto parcialmente seco; ligeramente apisonar con la barra compactadora con 25 golpes dejando caer la barra desde una altura aproximada de 5 mm. Retirar la arena suelta de la base y levantar el molde verticalmente, si ocurre una ligera caída del agregado fino moldeado se habrá llegado al estado saturado superficialmente seca, pero si mantiene la forma será porque la muestra aún sigue húmeda.
- Llenar parcialmente con agua un matraz aforado de 500 cm³, se agrega 500 g de la muestra saturada superficialmente seca, luego se llenará con agua adicional hasta un 90% del volumen de matraz.
- Girar o agitar manualmente el matraz para eliminar las burbujas de aire, completar con agua hasta su capacidad de calibración (500cm³) luego determinar el peso total de la fiola (matraz), la muestra y el agua; retirar el agregado fino de la fiola para secar en el horno a 110°C±5°C por 24 horas o hasta que su peso sea constante; sacar del horno dejar enfriar la muestra y luego determinar su peso seco. Los cálculos se detallan a continuación.

Muestra: Arena Gruesa

Cantera: Huaycán

Datos obtenidos del laboratorio.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso en estado s.s.s.	g	500.0	500.0	500.0
Peso de sss + agua + fiola	g	930.1	952.8	942.1
Peso fiola	g	142.1	142.1	142.1
Volumen de fiola	cm ³	500.0	500.0	500.0
Peso del agua en la fiola	g	---	---	---
Peso secado en horno	g	489.2	493.4	491.3

Para calcular el peso específico de masa o densidad secada al horno (OD), se usarán las siguientes fórmulas.

$$\text{Volúmen agua} = \frac{\text{Peso agua}}{1 \text{ g/cm}^3}$$

$$\text{Volúmen muestra} = \text{Volúmen fiola} - \text{Volúmen agua}$$

$$PE \text{ masa} = \frac{\text{Peso muestra secado en horno}}{\text{Volúmen fiola} - \text{Volúmen agua}}$$

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso en estado s.s.s.	g	500.0	500.0	500.0
Peso de sss + agua + fiola	g	930.1	952.8	942.1
Peso fiola	g	142.1	142.1	142.1
Volumen de fiola	cm ³	500.0	500.0	500.0
Peso del agua en la fiola	g	288.0	310.7	300.0
Peso secado al horno	g	489.2	493.4	491.3
Peso específico masa	g/cm ³	2.3075	2.6064	2.4565

$$PEm = 2.45680 \text{ g/cm}^3$$

$$PE m = 2456.80 \text{ kg/m}^3$$

5.1.6. Absorción (NTP 400.022)

La absorción de los agregados es la capacidad de aumentar su masa debido al agua que ocupa los poros internos; en aquella condición no hay humedad libre o superficial sobre las partículas, pero todos los poros dentro de ellas están llenos de agua; esta condición se supone que representa el estado que adquiere el agregado dentro de la mezcla de concreto.

Para determinar la capacidad de absorción del agregado fino se sumergió en un recipiente por un periodo de 24 horas, luego se secó la muestra hasta llegar al estado saturado superficialmente seco. Se pesa una muestra de 500 g, luego la muestra se coloca a un horno por 24 horas o hasta conseguir un peso constante a una temperatura entre $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, posteriormente se pesa la muestra secada en horno. Los cálculos se muestran a continuación.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso sss} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}}$$

Muestra: Arena Gruesa

Cantera: Huaycán

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de la muestra s.s.s.	g	500.0	500.0	500.0
Peso secado al horno	g	489.2	493.4	491.3
% de absorción		2.208	1.338	1.771

$$\% \text{Abs} = 1.77 \%$$

5.1.7. Contenido de Humedad (NTP 339.185)

Es la cantidad de agua superficial retenida por las partículas del agregado, la estructura interna de las partículas de un agregado está conformada por materia sólida y por poros, los cuales pueden o no contener agua. Las condiciones de humedad natural de un agregado pueden ser:

Seco. Sin agua en los poros

Húmedo no saturado. Algunos poros con agua

Saturado superficialmente seco (sss). Todos los poros permeables llenos de agua, pero sin agua superficial (superficie seca).

Húmedo sobresaturado. Todos los poros permeables llenos de agua y con agua en la superficie de las partículas del agregado (agua libre).

El contenido de humedad del agregado es la diferencia entre el estado natural de humedad y el estado seco del mismo.

$$\% CH = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} \times 100\%$$

Dependiendo de las condiciones del contenido de la humedad del agregado, puede aportar o reducir agua de la mezcla (se considera que el agregado se

encuentra en estado saturado superficialmente seca dentro de la mezcla de concreto). Si la humedad del agregado es mayor que la absorción, el material tiene agua libre y aportará agua a la mezcla; pero si la humedad del agregado es menor que la absorción, el agregado consumirá agua de la mezcla para poder saturar sus poros. Por eso es importante conocer la absorción y contenido de humedad de los agregados para corregir el agua de diseño de mezcla.

Se separa una muestra representativa de 500 g (ver la Tabla N°5.6) por el método de cuarteo mecánico, dicha muestra se dejará en horno a una temperatura controlada entre $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas o hasta que el peso se mantenga constante. Retirar la muestra del horno, esperar que se seque luego determinar el peso seco de la muestra con una aproximación de 0.1%.

Tabla N° 5.6. Tamaño de la muestra de agregado

Tamaño máximo nominal mm (pulg)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en kg
4.75 (0.187) (N°4)	0.5
9.5 (3/8)	1.5
12.5 (1/2)	2.0
19.0 (3/4)	3.0
5.0 (1)	4.0
37.5 (1 1/2)	6.0
50.0 (2)	8.0
63.0 (2 1/2)	10.0
75.0 (3)	13.0
90.0 (3 1/2)	16.0
100.0 (4)	25.0
150.0 (6)	50.0

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 339.185

A continuación, se detalla los cálculos para determinar el contenido de agua del agregado fino.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso natural	g	500.0	500.0	500.0
Peso secado al horno	g	485.6	485.2	485.0
% Contenido de humedad		2.965	3.05	3.093

$$\text{CH} = 3.04 \%$$

5.2. AGREGADO GRUESO

5.2.1. Definición

Es el agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, y que cumple con los límites establecidos en la presente Norma Técnica Peruana NTP 400.037. (NTP400.037, 2014, p.7).

El agregado grueso puede consistir de grava natural o triturada, piedra chancada, agregados metálicos naturales o artificiales. Por ser uno de los componentes más importantes del concreto, su calidad será de mucha importancia para garantizar buenos resultados.

5.2.2. Granulometría (NTP 400.012)

La granulometría fue definida en la sección del agregado fino, en esta oportunidad se describirán casos particulares para el agregado grueso.

La granulometría para el agregado grueso deberá ser preferentemente continua y permitirá obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad. La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 1/2" y no más del 6% del agregado que pasa la malla 1/4". El agregado grueso deberá estar graduado dentro de los límites especificados en la NTP 400.037 (ver Tabla N°5.7).

Tabla N° 5.7. Requisitos granulométricos para el agregado grueso

Número de Tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas)	Cantidades más finas que pasan por un tamiz (abertura cuadrada) en porcentaje en masa														
		100 mm (4 in.)	90 mm (3½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N°16)	300 µm (N°50)	
1	90 a 37.5 mm (3½ a 1½ in.)	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15	0 a 5								
2	63 a 37.5 mm (2½ a 1½ in.)			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 5								
3	50 a 25.0 mm (2 a 1 in.)				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 5							
357	50 a 4.75 mm (2 in. A N°4)				100	95 a 100										
4	37.5 a 19.0 mm (1½ to ¾ in.)					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5						
467	37.5 a 4.75 mm (1½ A N° 4)					100	95 a 100		35 a 70	10 a 30						
5	25.0 a 9.5 mm (1 a ½ in.)						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5					
56	25.0 a 4.75 mm (1 a ½ in.)							100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	25.0 a 4.75 mm (1 in. A N°4)							100	95 a 100		25 a 60	0 a 10	0 a 5			
6	19.0 a 9.5 mm (¾ in a ¾ in.)							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5				
67	19.0 a 4.75 mm (¾ in a N°4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5			
7	12.5 a 4.75 mm (½ in. A N°4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5			
8	9.5 a 2.36 mm (¾ in a N°8)										100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	9.5 a 1.18 mm (¾ in a N°16)											100	90 a 100	5 a 30	0 a 10	
9	4.75 a 1.18 mm (N°4 a N°16)												100	85 a 100	10 a 40	0 a 5

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037

Tamaño máximo. Es el tamaño que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada por donde pasa toda la muestra del agregado grueso.

Tamaño máximo nominal. Es el tamaño que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido entre 5% y 10% (para que pueda ser considerado como retenido el porcentaje de retenido debe ser mayor al 5% en peso del material tamizado).

Tabla N° 5.8. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso o global

Tamaño Máximo Nominal Aberturas Cuadradas mm (pulg)	Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo kg (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50.0 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP400.012

5.2.2.1. Granulometría del agregado grueso

Procedimiento:

- Se separó una muestra de unos 36 kg de piedra chancada para tomar 12 kg por método de cuarteo.
- Se dejó en horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 horas.
- Se pesó 10 kg de muestra seca (ver la Tabla N°5.8), luego se depositó en las mallas ordenadas desde el tamiz 3" hasta el recipiente del fondo de la maquina vibradora que tamizo por 90 segundos aproximadamente.
- los materiales retenidos en cada tamiz fueron pesados en una balanza electrónica de 10 g de precisión.

El agregado grueso utilizado en esta investigación proviene de la cantera de Santa Clara ubicado en el distrito de Ate.

El ensayo de granulometría se hizo tres veces como se muestra en la Tabla N°5.9

Muestra: Piedra Chancada

Cantera: Santa Clara

Peso seco de la muestra: 10000 g

Tabla N° 5.9. Pesos Retenidos

Abertura de Tamiz		Muestra1 (g)	Muestra2 (g)	Muestra3 (g)	Promedio (g)
Diámetro(Ø)	(mm)				
3"	75.00	0.0	0.0	0.0	0.0
2 1/2"	63.00	0.0	0.0	0.0	0.0
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	0.0
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	25.00	1183.8	1210.0	1298.8	1230.8
3/4"	19.00	5621.9	5778.1	5590.0	5663.3
1/2"	12.50	3043.1	2888.8	3000.6	2977.5
3/8"	9.50	69.4	66.3	62.5	66.0
N° 4	4.75	36.3	25.6	22.5	28.2
<N° 4	Fondo	45.6	31.3	25.6	34.2
	Total	10000.0	10000.0	10000.0	10000.0

Fuente: Elaboración Propia

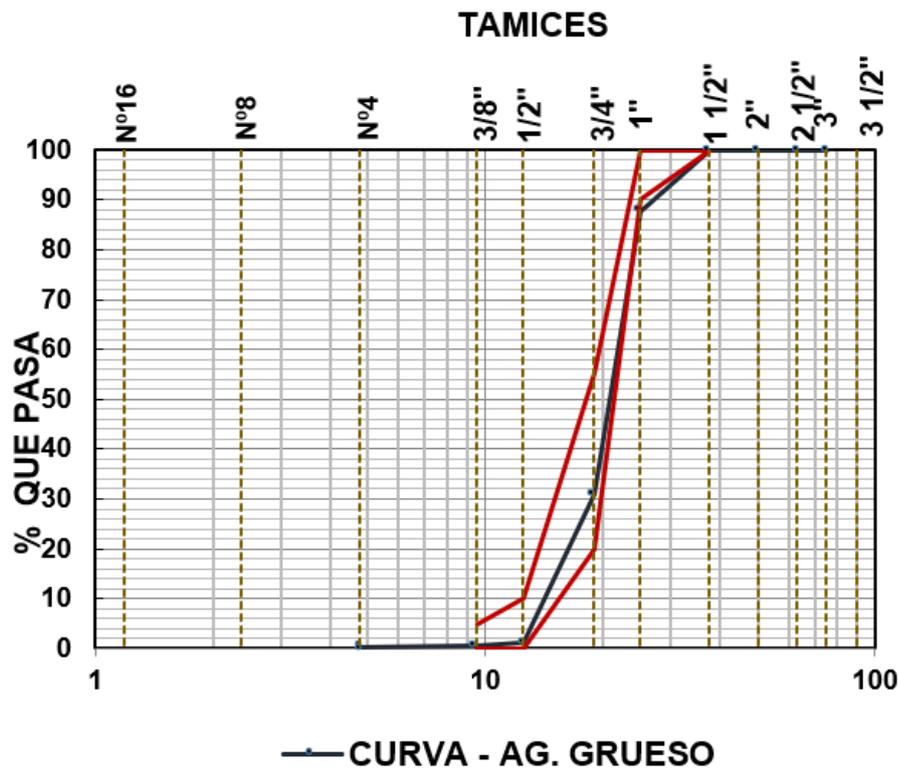
Análisis granulométrico del promedio de los tres ensayos, ver la Tabla N°5.10.

Tabla N° 5.10. Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

Abertura de Tamiz		Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
Diámetro(Ø)	(mm)				
3"	75.00	0.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.000	1230.8	12.3	12.3	87.7
3/4"	19.000	5663.3	56.6	68.9	31.1
1/2"	12.500	2977.5	29.8	98.7	1.3
3/8"	9.500	66.0	0.7	99.4	0.6
N° 4	4.750	28.2	0.3	99.7	0.3
<N° 4	Fondo	34.2	0.3	100.0	0.0
	Total	10000.0	100.0	MF = 7.68	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.2. Curva Granulométrica del Agregado Grueso



Fuente: Elaboración Propia

Huso (N.T.P.400.037)	= "ASTM 5"
Módulo de finura	= 7.68
Peso de la muestra	= 10000.0
Tamaño máximo	= 1 1/2"
Tamaño máximo Nominal	= 1"

5.2.3. Peso Unitario del Agregado Grueso (NTP 400.017)

Se denomina peso unitario o peso volumétrico, ya sea suelto o compactado, el peso del material necesario para llenar un recipiente de volumen unitario; además del volumen de las partículas del agregado se tiene en cuenta el volumen de vacíos que existe entre las partículas.

5.2.3.1. Peso Unitario Suelto (PUS)

- Se dejó secar una muestra de agregado fino en un horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas
- Se llena el molde dejando caer suavemente el agregado grueso seco desde una altura no mayor de 2 pulgadas sobre la parte superior del molde.

- Se enrasa la superficie del material con una varilla de apisonado lisa de acero, redondeada de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud. La capacidad del molde será escogida de acuerdo a la Tabla N°5.5.

$$PUS = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

Los cálculos se detallan en la a continuación

Muestra: Piedra Chancada

Cantera: Santa Clara

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso balde(1/3p3)	g	4360	4360	4360
P.muestra+P.balde(1/3p3)	g	17230	17390	17310
Peso muestra	g	12870	13030	12950
Vol. balde(1/3p3)	cm3	9438.95	9438.95	9438.95
Peso unitario suelto	g/cm3	1.363	1.38	1.372

$$PUS = 1.37167 \text{ g/cm}^3$$

$$PUS = 1371.67 \text{ kg/m}^3$$

5.2.3.2. Peso Unitario Compactado (PUC)

Para este ensayo se usa el mismo recipiente del ensayo anterior, solo variando la forma de llenado. Se llena el recipiente a un tercio del total para luego apisonar con 25 golpes uniformemente distribuidos con la varilla de apisonado (sin golpear el fondo del molde). Llenar el recipiente a los dos tercios del total y apisonar de nuevo con 25 golpes. Finalmente, llenar el recipiente y apisonar de nuevo, nivelar la superficie del agregado luego pesar. Los cálculos se detallan a continuación.

$$PUC = \frac{\text{Peso del material compactado}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

Los cálculos se detallan en la a continuación

Muestra: Piedra Chancada

Cantera: Santa Clara

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso balde(1/3p3)	g	4360	4360	4360
P.muestra+Pbalde(1/3p3)	g	18620	18860	18740
Peso muestra	g	14260	14500	14380
Vol. balde(1/3p3)	cm3	9438.95	9438.95	9438.95
Peso unitario compactado	g/cm3	1.511	1.536	1.523

$$PUC = 1.52333 \text{ g/cm}^3$$

$$PUC = 1523.33 \text{ kg/m}^3$$

5.2.4. Peso Específico (NTP 400.021)

Está dado por el cociente entre el peso de las partículas y su respectivo volumen, pero sin considerar los vacíos entre ellas; ósea se refiere a la densidad de las partículas individuales y no a la masa del agregado como un todo.

La Norma Técnica Peruana NTP 400.021 (2002) considera las siguientes definiciones para el peso específico del agregado grueso:

Peso específico aparente. Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de la porción impermeable del agregado, a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas.

Peso específico de masa. Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado (incluyendo los poros permeables e impermeables en las partículas, pero no incluyendo los poros entre partículas); a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas.

Peso específico de masa saturado superficialmente seco (SSS). peso específico de masa saturado superficialmente seco (SSS): Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado incluyendo la masa del agua de los poros llenos hasta colmarse por sumersión en agua por 24 horas aproximadamente (pero no incluyendo los poros entre partículas), comparada con la masa en el aire de un igual volumen de agua destilada libre de gas.

5.2.4.1. Procedimiento

- Reducir a una cantidad necesaria por método de cuarteo, lavar el material para remover los finos u otras impurezas superficiales. En un recipiente sumergir en agua una muestra aproximada de 5000 g del agregado grueso lavada; se dejará saturar la muestra por un periodo de 24 horas.
- Decantar el agua de saturado, extender la muestra sobre una tela grande y absorbente para luego secar con una franela toda la película de agua visible; se debe tener cuidado en evitar la evaporación durante el secado con franela. Pesar 4000 g me muestra saturada superficialmente seca (peso mínimo según la Tabla N°5.11).

- Se coloca la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determina su peso sumergido completamente en agua a una temperatura entre $23^{\circ}\text{C} \pm 1.7^{\circ}\text{C}$.
- Retirar la muestra de la cesta para secar la muestra en horno a una temperatura entre $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, luego retirar del horno para enfriar la muestra seca y luego determinar su peso seco.

Tabla N° 5.11. Peso mínimo de la muestra de ensayo

Tamaño máximo nominal mm (pulg)	Peso mínimo de la muestra de ensayo kg (lb)
12.5 (1/2) o menos	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 1/2)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 1/2)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 1/2)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
112 (4 1/2)	50 (110)
125 (5)	75 (165)
150 (6)	125 (279)

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP400.021

Muestra: Piedra Chancada

Cantera: Santa Clara

Datos obtenidos en el laboratorio.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso en estado s.s.s. (B)	g	4000.4	4000.3	4000
Peso de canastilla sumergida	g	873.4	873.4	873.4
Peso muestra sss en agua + canastilla	g	3379.6	3379.5	3379.4
P. muestra sss en el agua (C)	g	---	---	---
Peso secado al horno (A)	g	3975.2	3975.7	3975.6
Volumen de la muestra	cm ³	---	---	---

Para calcular el peso específico de la piedra chancada se usarán las siguientes formulas.

$$\text{Empuje} = \text{Peso real} - \text{Peso aparente}$$

$$\text{Empuje} = V_{\text{sumergido}} \times \gamma_{\text{agua}} = V_{\text{sumergido}} \times (1 \text{ g/cm}^3)$$

$$V_{\text{sumergido}} = V_{\text{muestra}}$$

Peso específico de masa (PEm)

$$PEm = \frac{A}{B - C} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

Donde:

A: Peso de la muestra secada al horno pesada en el aire, en gramos.

B: Peso de la muestra en estado saturada superficialmente seca pesada en el aire, en gramos.

C: Peso de la muestra saturada superficialmente seca pesada en el agua, en gramos.

Peso específico de masa saturada superficialmente seca (PEsss)

$$PEsss = \frac{B}{B - C} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

Peso específico aparente (PEa)

$$PEa = \frac{A}{A - C} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso en estado s.s.s. (B)	g	4000.4	4000.3	4000.0
Peso de canastilla sumergida	g	873.4	873.4	873.4
Peso muestra sss en agua + canastilla	g	3379.6	3379.5	3379.4
P. muestra sss en el agua (C)	g	2506.2	2506.1	2506
Peso secado al horno (A)	g	3975.2	3975.7	3975.6
Volumen de la muestra	cm ³	1494.2	1494.2	1494
Peso específico masa	g/cm ³	2.6604	2.6608	2.661

$$PEm = 2.66073 \text{ g/cm}^3$$

$$PEm = 2660.73 \text{ kg/m}^3$$

5.2.5. Absorción (NTP 400.021)

La absorción de los agregados es la capacidad de aumentar su masa debido al agua que ocupa los poros internos; en aquella condición no hay humedad libre o superficial sobre las partículas, pero todos los poros dentro de ellas están llenos de agua; esta condición se supone que representa el estado que adquiere el agregado dentro de la mezcla de concreto.

Para determinar la capacidad de absorción del agregado grueso se sumergió en un recipiente por un periodo de 24 horas, luego se secó la muestra hasta llegar al estado saturado superficialmente seco. Se pesa una muestra de 3000 g, luego la muestra se coloca a un horno a una temperatura entre $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas o hasta conseguir un peso constante, posteriormente se pesa la muestra secada en horno. Los cálculos se muestran a continuación.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso sss} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}}$$

Muestra: Piedra Chancada

Cantera: Santa Clara

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de la muestra s.s.s.	g	3000.4	3000.3	3000.0
Peso secado al horno	g	2975.2	2975.7	2975.6
% de absorción		0.847	0.827	0.82

%Abs = 0.83 %

5.2.6. Contenido de Humedad (NTP 339.185)

Es la cantidad de agua superficial retenida por las partículas del agregado, la estructura interna de las partículas de un agregado está conformada por materia sólida y por poros, los cuales pueden o no contener agua. Las condiciones de humedad natural de un agregado pueden ser:

Seco. Sin agua en los poros

Húmedo no saturado. Algunos poros con agua

Saturado superficialmente seco (sss). Todos los poros permeables llenos de agua, pero sin agua superficial (superficie seca).

Húmedo sobresaturado. Todos los poros permeables llenos de agua y con agua en la superficie de las partículas del agregado (agua libre).

El contenido de humedad del agregado es la diferencia entre el estado natural de humedad y el estado seco del mismo.

$$\% CH = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} \times 100\%$$

Dependiendo de las condiciones del contenido de la humedad del agregado, puede aportar o reducir agua de la mezcla (se considera que el agregado se encuentra en estado saturado superficialmente seca dentro de la mezcla de concreto). Si la humedad del agregado es mayor que la absorción, el material tiene agua libre y aportará agua a la mezcla; pero si la humedad del agregado es menor que la absorción, el agregado consumirá agua de la mezcla para poder saturar sus poros. Por eso es importante conocer la absorción y contenido de humedad de los agregados para corregir el agua de diseño de mezcla.

Se separa una muestra representativa de 4000 g (ver la Tabla N°5.6) por el método de cuarteo mecánico, dicha muestra se dejará en horno a una temperatura controlada entre 110°C±5°C por 24 horas o hasta que el peso se mantenga constante. Retirar la muestra del horno, esperar que se seque luego determinar el peso seco de la muestra con una aproximación de 0.1%.

A continuación, se detalla los cálculos para determinar el contenido de agua del agregado fino.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso natural	g	4000.0	4000.0	4000.0
Peso secado al horno	g	3986.0	3988.4	3984.8
% Contenido de humedad		0.351	0.291	0.381

CH = 0.34 %

5.3. CEMENTO

5.3.1. Definición

Es un material pulverizado (contiene óxido de calcio, sílice, alúmina y óxido de hierro) que posee la propiedad de formar, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como en el aire. Quedan excluidas de esta definición las cales hidráulicas, cales aéreas y los yesos.

5.3.2. Clinker Portland

Es fabricado mediante un proceso que comienza por combinar una fuente de cal (calizas), una fuente de sílice y alúmina (arcillas), y una fuente de óxido de hierro. Una mezcla adecuadamente dosificada de los materiales crudos es finamente molida y luego calentada a una alta temperatura (1500°C) a fin de generar reacciones entre los componentes del cemento. El producto obtenido del horno es conocido como Clinker del cemento portland y está constituido en mayor parte por silicatos de calcio. Después de enfriado, el Clinker es molido con una adición del sulfato de calcio (yeso) para formar el cemento portland.

5.3.3. Cemento Portland Tipo I

Se empleará en todos aquellos casos en donde en el concreto no se requieran propiedades especiales especificadas para los otros tipos de cemento. En el Perú se fabrican cementos portland Tipos I, II y V. Ficha Técnica del cemento portland tipo I sol (UNACEM).

Características:

- Cemento Portland Tipo I.
- Cumple con la Norma Técnica Peruana (NTP) 334. 009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.
- Producto obtenido de la molienda conjunta de clínker y yeso. Cuenta con la fecha y hora de envasado impresa en la bolsa en beneficio de los consumidores, ya que permite una mayor precisión en la trazabilidad.

Ventajas:

- Es usado en concretos de muchas aplicaciones y preferido por el buen desarrollo de resistencias a la compresión a temprana edad.
- Desarrolla un adecuado tiempo de fraguado, requerido por los maestros constructores en las diferentes aplicaciones requeridas del cemento.
- El acelerado desarrollo de resistencias iniciales permite un menor tiempo en el desencofrado.

Usos y aplicaciones:

- Para las construcciones en general y de gran envergadura cuando no se requieren características especiales o no especifique otro tipo de cemento.
- Utilizado ampliamente para fabricar concretos de mediana y alta resistencia a la compresión (superiores a 300 Kg/cm²).
- Preparación de concretos para cimientos, sobrecimientos, zapatas, vigas, columnas y techado.
- Producción de prefabricados de concreto.
- Fabricación de bloques, tubos para acueducto y alcantarillado, terrazos y adoquines.
- Fabricación de morteros para el desarrollo de ladrillos, tarrajeos, enchapes de mayólicas y otros materiales.
- Producción de concretos pre-tensado y post-tensado.
- Fabricación de concretos permeables.
- Compatible con todos los aditivos empleados en el concreto, presentes en el mercado nacional.

Recomendaciones:

- Como en todo cemento, se debe respetar la relación agua/cemento (*a/c*) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- Es importante utilizar agregados de buena calidad. Si estos están húmedos es recomendable dosificar menor cantidad de agua para mantener las proporciones correctas.
- Como todo concreto es recomendable siempre realizar el curado con agua a fin de lograr un buen desarrollo de resistencia y acabado final.
- Para asegurar una conservación del cemento se recomienda almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes o pisos y protegidas del aire húmedo.

- Evitar almacenar en pilas de más de 10 bolsas para evitar la compactación.

Presentación:

- Bolsas de 42.5 kg (4 pliegos - 3 de papel + 1 film plástico) y a granel (a despacharse en camiones bombonas y en Big Bags).

5.4. ADITIVO

5.4.1. Definición

Los aditivos son materiales usados como componentes del concreto o mortero (sin ser agua, agregado, cemento ni fibra de refuerzo), y es añadido a la tanda antes o durante el mezclado, con el fin de modificar alguna o algunas de sus propiedades físicas, de tal forma que sean más adecuados a las necesidades del constructor.

5.4.2. Chema Fibra Ultrafina

Datos técnicos según la ficha técnica del proveedor Chema.

Descripción

CHEMA FIBRA ULTRAFINA son microfibras sintéticas de polipropileno recomendado como refuerzo del concreto. Esta tecnología única combina un diámetro ultra fino y alta resistencia, obteniendo un alto nivel de prevención de grietas causados por contracción. Más de cien millones de filamentos de alta resistencia y alto módulo crean una red dimensional extremadamente densa en el concreto.

La habilidad de las fibras reduce el agrietamiento en las primeras 24 horas después de colocado el concreto, permitiendo una reducción de la dosis recomendada.

Cumple con los requisitos de la norma ASTM C1116 / C1116M "Especificación Estándar para Hormigón Armado con Fibra" y los requisitos de ICC ES AC32 Sección 3.1.1 Para el refuerzo de contracción plástica.

Ventajas.

- Inhibe y controla la formación de grietas intrínsecas en hormigón.
- Reduce el agrietamiento de la contracción plástica en un promedio del 90% a una dosis de 0,6 kg/m³ con más de 110 millones de fibras.

- Reduce considerablemente la permeabilidad del hormigón, aumentando así la vida útil del hormigón.
- Proporciona refuerzo tridimensional contra el micro-agrietamiento.
- Aumenta la resistencia al impacto y a la abrasión del hormigón.
- Se presenta como un elemento muy eficaz en mezclas con fibras macro sintéticas y fibras de acero.

Usos

- Recomendado para uso en:
- Construcción de losa sobre suelo.
- Pavimento de hormigón.
- Blanqueado y superposiciones.
- Prefabricados arquitectónicos.
- Hormigón proyectado, decorativo.
- Estuco, tarrajeos.
- Elementos a base de cemento.
- Elementos marinos, etc.

Datos Técnicos

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

Preparación y aplicación del producto.

Agregar una bolsa hidrosoluble de 300g por cada m³ directamente al mixer de concreto o mortero antes, durante o después que la mezcla de concreto esté lista. Se recomienda seguir los procedimientos de mezcla especificados en ASTM C94.

Rendimiento.

La dosis recomendada es de una bolsa de 300g/m³ de concreto, mortero o según recomendación del proyectista.

Presentación.

Envase de 300 g

Tiempo de almacenamiento.

Su vida útil es ilimitada si se conserva adecuadamente, almacenado en un lugar fresco, sellado y bajo techo.

Debe almacenarse a temperaturas por debajo de 60 °C. Evitar almacenar cerca de oxidantes y evitar fuentes de ignición. Tenga cuidado al apilar para evitar condiciones inestables.

Recomendación.

No se recomienda esta fibra para su uso como sustituto del refuerzo primario / estructural.

CAPÍTULO VI. DISEÑO DE MEZCLAS

6.1. PARAMETROS BÁSICOS DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

6.1.1. Principio de los Volúmenes Absolutos

Todos los métodos de diseño de mezclas exactos, se basan en el principio de considerar en el cálculo, los volúmenes de los componentes sin incluir los vacíos entre ellos, de manera que sumados conjuntamente con el aire que atrapa el concreto suministren la unidad de medida que se esté adoptando, que usualmente es 1m³. Se trabaja en los cálculos con el peso específico de los sólidos, también llamado gravedad específica o peso específico de masa, se en condición seca o saturada superficialmente seca. (Pasquel, 1993, p.90).

6.1.2. Agregado Global

Es una mezcla del agregado grueso con el agregado fino en una proporción adecuada para formar parte de la unidad cubica del concreto. A la granulometría del agregado global se le denomina como Granulometría Total.

En el agregado global se busca obtener una granulometría total continua, ósea con un volumen de vacíos mínimo.

6.1.3. Agregado Global de Máxima Densidad

Consiste en encontrar los porcentajes de combinación óptima para el agregado fino y agregado grueso (agregado global) que generen el máximo peso unitario compactado reduciendo el volumen de vacíos.

Para obtener esta proporción se realiza varios ensayos de peso unitario compactado según la NTP 400.017 variando los porcentajes de participación en peso de los agregados fino y grueso, y calculando su peso unitario compactado del agregado global para cada combinación. Se dibuja una curva PUC vs porcentaje de arena o PUC vs porcentaje de piedra chancada, luego se escogerá gráficamente el porcentaje de arena o piedra chancada que genere el máximo peso específico compactado del agregado global. Los resultados del ensayo se muestran en la Tabla N°6.1

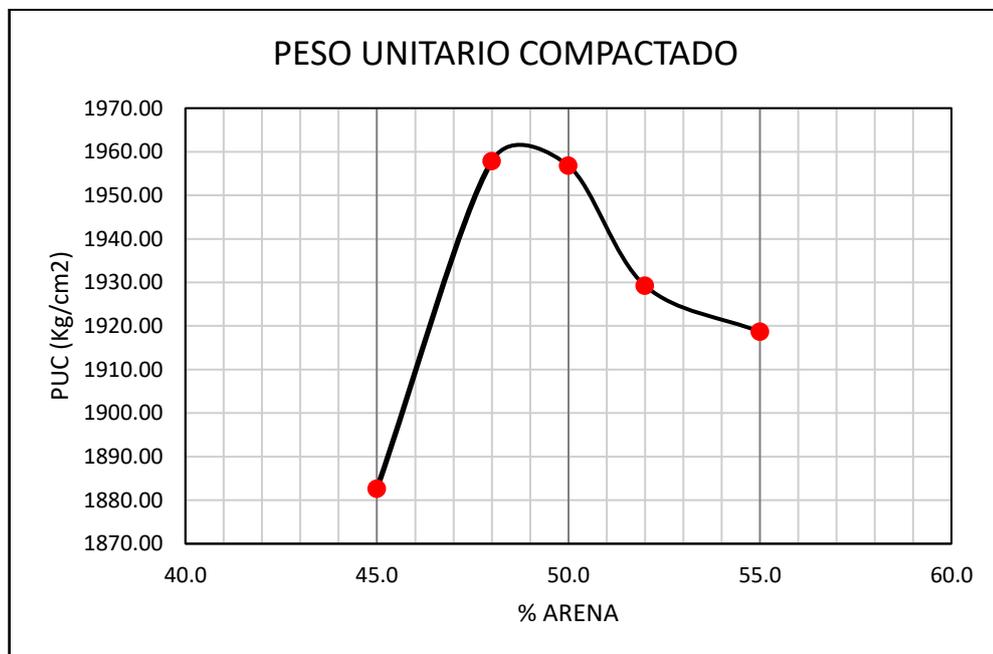
Tabla N° 6.1. PUC del Agregado Global

Proporción de Agregados		P.U.C. (Kg/m ³)
Arena (%)	Piedra (%)	
45.0	55.0	1882.62
48.0	52.0	1957.85
50.0	50.0	1956.79
52.0	48.0	1929.24
55.0	45.0	1918.65

Fuente: Elaboración Propia

Graficando los resultados de la Tabla N°6.1.

Gráfico N° 6.1. Peso Unitario Compactado del Agregado Global



Fuente: Elaboración Propia

Gráficamente se observa que el porcentaje óptimo que genera el máximo peso unitario compactado del agregado global son:

% Arena 49 %
 % Piedra 51 %

6.1.4. Combinación óptima de los Agregados

La combinación de los agregados obtenida por el método de máxima densidad de agregado global es una aproximación que podría o no representar la proporción ideal, puesto que en este método solamente intervienen los agregados, el volumen de vacíos solo se reduce en la mezcla de los agregados; pero en la mezcla de

concreto intervienen otros componentes como el cemento y el agua que podrían alterar dicha condición.

La proporción óptima de los agregados aumenta la resistencia del concreto manteniendo constante la proporción a/c; para encontrar dicha proporción se tomara tres porcentajes de participación de la arena o piedra, dichos porcentajes serán convenientes escoger de manera simétrica respecto el valor encontrado en el ensayo de máxima densidad del agregado global. Se diseñarán mezclas para los tres porcentajes elegidos del agregado grueso o fino (se escogieron 48%, 49% y 50% de arena) pero manteniendo constante la relación a/c. Se preparan probetas para las tres proporciones de arena, las probetas se ensayarán a compresión a los 7 días y se dibujarán los resultados en una curva resistencia del concreto vs porcentaje de arena. La proporción óptima en este caso se obtendrá interceptando las gráficas: resistencia del concreto vs porcentaje de arena y peso unitario compactado vs porcentaje de arena.

6.1.5. Diseño de Mezcla

Se diseñará una mezcla de concreto patrón para una relación a/c=0.60 y con asentamiento de 3.5" a 4.5", a continuación, se detallan los procedimientos de diseño.

Paso 1.

Del ensayo de máxima densidad del agregado global se tienen las proporciones de los agregados que producen el máximo peso unitario compactado. Ver Gráfico N°6.1

% Arena	49	%
% Piedra	51	%

Paso 2.

Con la proporción arena/piedra escogida (49% / 51%) se diseña una mezcla de concreto, luego se procede a buscar la cantidad de agua necesaria que hará posible generar asentamiento en el rango elegido (3.5" a 4.5"). Se consigue generando varios diseños de mezclas con igual relación a/c en peso, pero para distintas cantidades de agua, a cada cantidad de agua le corresponde un asentamiento que incrementará al aumentar la cantidad de agua o disminuirá al

reducir el agua. Los procedimientos de diseño se detallan a continuación. Las propiedades físicas de los agregados son los siguientes.

Tabla N° 6.2. Propiedades Físicas de los Agregados

Propiedades Físicas		
Propiedad	Arena	Piedra
PUS (kg/m ³)	1503.33	1371.67
PUC (kg/m ³)	1704.33	1523.33
PE masa (kg/m ³)	2456.80	2660.73
A (%)	1.77	0.83
W (%)	3.04	0.34
TMN (pulg)	N°4	1.0
MF	3.25	7.68

Fuente: Elaboración Propia

Procedimiento.

a) Relación a/c.

según la presente tesis es: $a/c=0.60$

b) Asentamiento.

Se elige en el rango 3.5" a 4.5"

c) Contenido de aire.

Será estimado según el tamaño máximo nominal del agregado grueso (ver Tabla N°6.3). En este caso para un TMN = 1" le corresponde:

Aire= 1.5 %

d) Cantidad de agua.

El contenido del agua por 1 m³ de mezcla, se escoge según la Tabla N°6.3

Tabla N° 6.3. Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes asentamientos y TMN

Agua, kg/m ³ de concreto para los TMN indicados del agregado								
Asentamiento (pulg)	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incorporado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	---
Promedio recomendado de aire a incluir según tipo de exposición (%)								
Exposición Ligera	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición Moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición Severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Fuente: ACI 211.1-91-Tabla 6.3.3

la cantidad de agua para un asentamiento entre 3" a 4" y TMN de 1" es:

Agua= 193 L

$$Agua\ teórica = 193\ L$$

e) Cantidad de cemento.

Se calcula con el volumen de agua obtenido en el procedimiento anterior.

$a/c=0.60$

$$\frac{a}{c} = \frac{193}{c} = 0.60$$

$$c = 321.67\ kg$$

f) Volumen total de agregados.

El cálculo del volumen total de agregados en 1 m³ de mezcla de concreto, considerando el principio de volúmenes absolutos.

$$Volumen\ agregados = 1 - (Vol.\ agua + Vol.\ cemento + Vol.\ aire)$$

$$Volumen\ agregados = 1 - \left(\frac{193}{1000} + \frac{321.67}{3150} + \frac{1.5}{100} \right)$$

$$Volumen\ agregados = 0.690\ m^3$$

g) Volumen de los agregados.

El cálculo de los volúmenes del agregado grueso y fino en estado seco en 1 m³ de mezcla de concreto.

$$Vol.\ arena = \left(\frac{\frac{\% Arena}{PE\ arena}}{\frac{\% Arena}{PE\ arena} + \frac{\% Piedra}{PE\ piedra}} \right) x Vol_{agregados}$$

$$Vol.\ piedra = \left(\frac{\frac{\% Piedra}{PE\ arena}}{\frac{\% Arena}{PE\ arena} + \frac{\% Piedra}{PE\ piedra}} \right) x Vol_{agregados}$$

Según el ensayo de máxima del agregado global de máxima densidad, de tiene los siguientes porcentajes de participación en la mezcla de concreto.

% Arena	49 %
% Piedra	51 %

$$Vol.\ arena = \left(\frac{\frac{0.49}{2456.80}}{\frac{0.49}{245.80} + \frac{0.51}{2660.73}} \right) x 0.69\ m^3 = 0.352\ m^3$$

$$Vol.\ piedra = \left(\frac{\frac{0.51}{2456.80}}{\frac{0.49}{245.80} + \frac{0.51}{2660.73}} \right) x 0.69\ m^3 = 0.338\ m^3$$

h) Peso seco de los agregados.

Para calcular el peso húmedo, primero se calcula los pesos secos.

$$Peso\ seco\ arena = Vol.\ arena \times PE\ arena$$

$$Peso\ seco\ piedra = Vol.\ piedra \times PE\ piedra$$

$$Peso\ seco\ arena = 0.352\ m^3 \times 2456.80 \frac{Kg}{m^3} = 864.29\ Kg$$

$$Peso\ seco\ piedra = 0.338\ m^3 \times 2660.73 \frac{Kg}{m^3} = 899.56\ Kg$$

i) Pesos húmedos.

$$\text{Peso humedo arena} = \text{Peso seco arena} (1 + \%W \text{ arena})$$

$$\text{Peso humedo piedra} = \text{Peso seco piedra} (1 + \%W \text{ arena})$$

$$\text{Peso humedo arena} = 864.29 \left(1 + \frac{3.04}{100} \right) = 890.53 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso humedo piedra} = 899.56 \left(1 + \frac{0.34}{100} \right) = 902.63 \text{ Kg}$$

j) Corrección del agua de diseño.

$$\text{Aporte humedad arena} = \text{Peso seco arena} (\%W_{\text{arena}} - \%Abs. \text{arena})$$

$$\text{Aporte humedad piedra} = \text{Peso seco piedra} (\%W_{\text{piedra}} - \%Abs. \text{piedra})$$

$$\text{Aporte humedad arena} = 864.29 \text{ kg} (3.04\% - 1.77\%) = 10.92 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Aporte humedad piedra} = 899.56 \text{ kg} (0.34\% - 0.83\%) = -4.41 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Aporte humedad total} = 10.92 \frac{\text{L}}{\text{m}^3} + \left(-4.41 \frac{\text{L}}{\text{m}^3} \right) = 6.51 \frac{\text{L}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua teórica} - \text{Aporte humedad total}$$

La cantidad de agua efectiva para 1 m³ de concreto es:

$$\text{Agua efectiva} = 193 \text{ L} - 6.51 \text{ L} = 186.49 \text{ L}$$

k) Pesos de materiales corregidos.

Tabla N° 6.4. Dosificación de materiales en obra

Materiales	Peso obra	Unidad
Cemento:	321.67	kg/m ³
Agua:	186.49	L/m ³
Arena:	890.53	kg/m ³
Piedra:	902.63	kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Al preparar la mezcla con dichas cantidades no se obtiene el asentamiento elegido (3.5" a 4.5"), para llegar a dicho asentamiento se agregó la cantidad de agua, pero manteniendo constantes la relación a/c y la relación arena/piedra escogida por el ensayo de máxima compacidad.

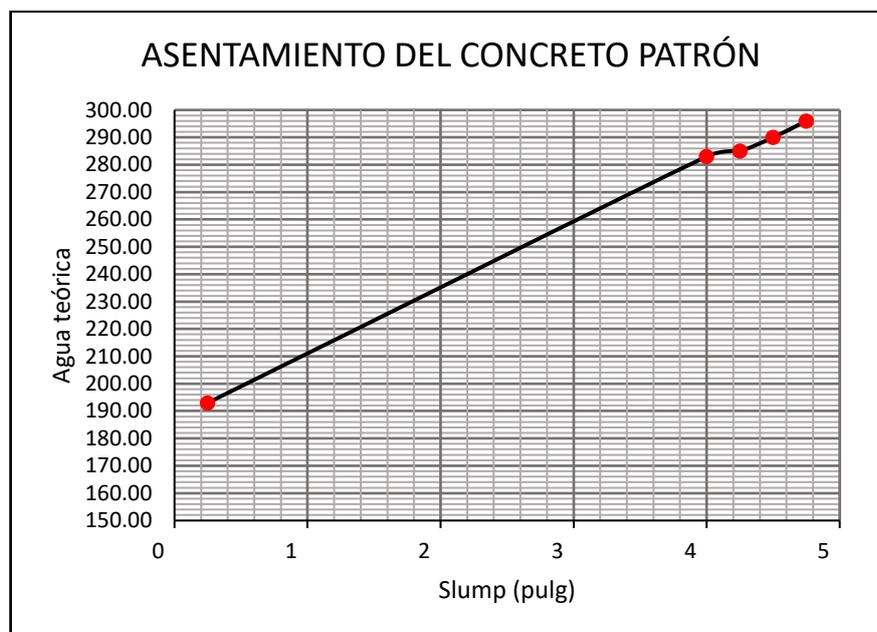
Con los resultados de asentamientos para cada contenido de agua se grafica una curva de asentamiento vs contenido de agua para poder escoger gráficamente la cantidad de agua requerida para lograr el asentamiento buscado (ver Tabla N°6.5 y Gráfico N°6.2).

Tabla N° 6.5. Asentamientos para diferentes cantidades de agua

Agua Teórica (L)	Slump (pulg)
193.00	1/4
283.00	4
285.00	4 1/4
290.00	4 1/2
296.00	4 3/4

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.2. Variación del asentamiento con respecto al agua de mezcla



Fuente: Elaboración Propia

Según la gráfica la cantidad de agua que genera un asentamiento de 4 1/4" pulgadas es:

$$\text{Agua teórica} = 285.00 \text{ L/m}^3$$

l) Rediseño de la mezcla.

El nuevo diseño se realiza con la nueva cantidad de agua teórica obtenida en el paso anterior y siguiendo los procedimientos descritos anteriormente.

$$\text{Agua teórica} = 285.00 \text{ L/m}^3$$

Los materiales por 1 m³ de mezcla de concreto y además que tenga un asentamiento de 4 1/4" son:

Tabla N° 6.6. Dosificación de materiales con Agua ajustada

Materiales	Peso obra	Unidad
Cemento:	475.00	kg/m ³
Agua:	279.82	L/m ³
Arena:	708.94	kg/m ³
Piedra:	718.57	kg/m ³
Slump:	4 1/4	pulg

Fuente: Elaboración Propia

Paso 3

Después de ajustar la cantidad de agua para generar un asentamiento de 4 1/4" y para una relación de arena/piedra: 49/51, calculada en el ensayo del agregado global de máxima densidad. Se debe optimizar la combinación de los agregados, para ello se generará dos combinaciones adicionales alrededor de la elegida por el ensayo del agregado global de máxima densidad; pero en esos tres diseños de mezclas se mantendrá constante la cantidad de agua calculada en el paso 2. Dichos resultados se muestran en la Tabla N°6.6.

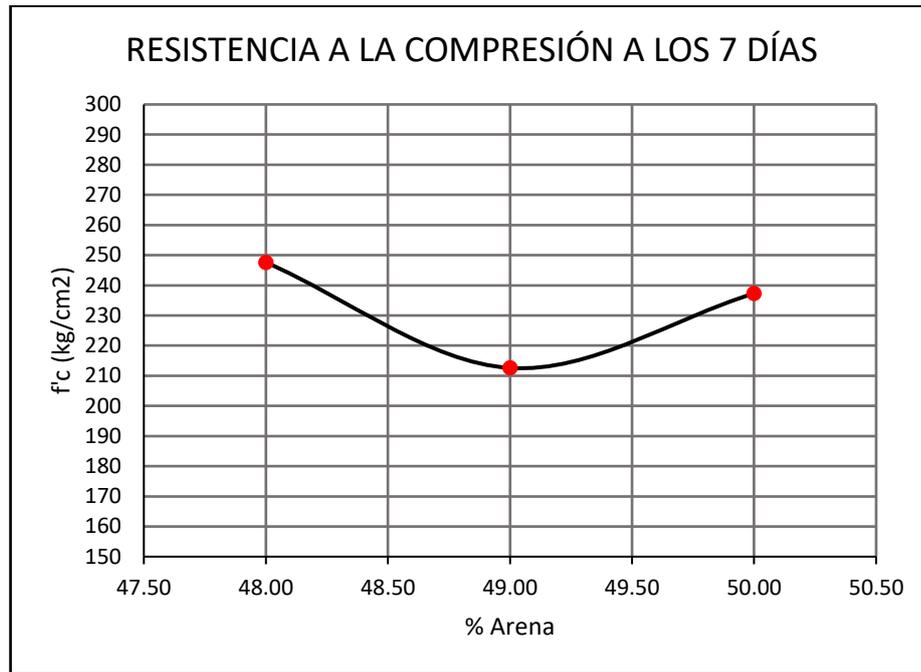
Tabla N° 6.7. Resistencia a la Compresión a los 7 días para diferentes contenidos de Arena

Arena (%)	Muestra	Dim. (cm)		Área (cm ²)	Carga (kg)	f'c (Kg/cm ²)	f'c (Kg/cm ²) prom.
		Ø	h				
48	M1	9.85	20.85	76.2	17899.4	234.90	247.6
	M2	10	20.9	78.54	19600.4	249.56	
	M3	9.75	20.9	74.66	19286.7	258.33	
49	M1	9.8	20.7	75.43	14762.1	195.71	212.6
	M2	9.95	20.8	77.76	17129.2	220.28	
	M3	9.9	20.7	76.98	17082.9	221.91	
50	M1	9.95	20.85	77.76	18129.5	233.15	237.3
	M2	9.85	20.6	76.2	17692.4	232.18	
	M3	10.1	21	80.12	19744.8	246.44	

Fuente: Elaboración Propia

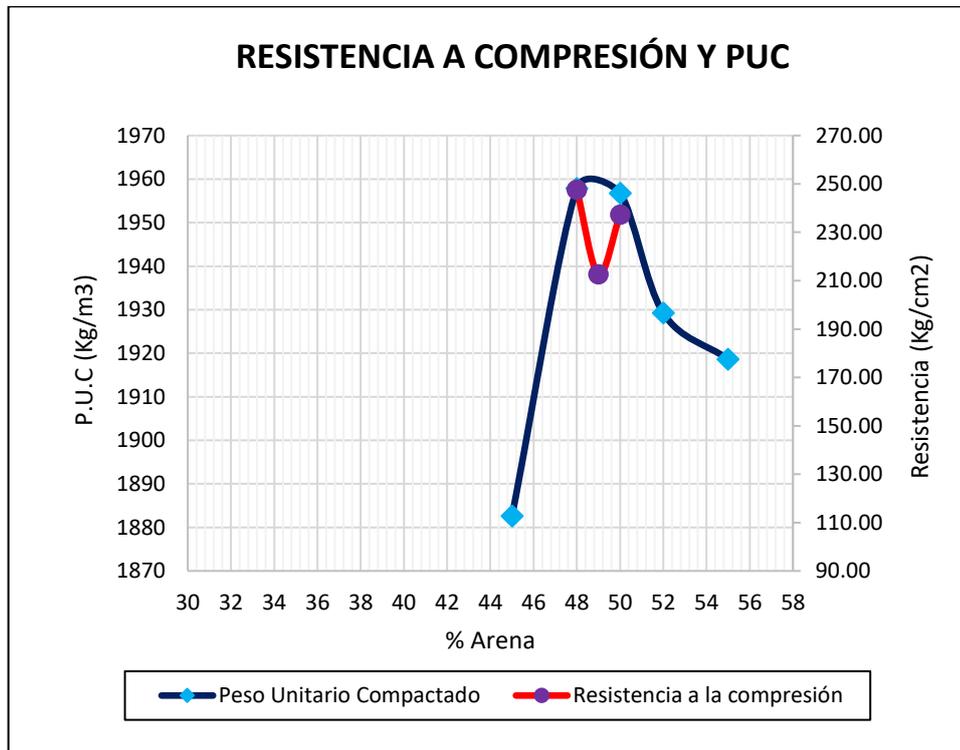
Graficando los resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días según la Tabla N°6.7, se obtiene el siguiente gráfico (Gráfico N°6.3)

Gráfico N° 6.3. Resistencia a la Compresión para diferentes combinaciones de Arena y Piedra



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.4: Superposición de la Resistencia a la Compresión a los 7 días y PUC



Fuente: Elaboración Propia

Según el gráfico N°6.4, se escoge la proporción arena/piedra = 48/52 porque genera la mayor resistencia a la compresión a los 7 días y el mayor peso unitario compactado del agregado global.

6.1.5.1. Diseños de mezclas para ensayo.

Para obtener la dosificación del diseño de concreto patrón se sigue los procedimientos detallados en el Paso 2, pero para la nueva relación arena/piedra= 48/52 y contenido de agua teórica de 285 L/m³. Las dosificaciones para concreto patrón, concreto con fibra de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³ se muestran en las siguientes tablas.

Tabla N° 6.8. Dosificación del concreto Patrón

Concreto Patrón		
Materiales	Peso obra	Unidad
Cemento:	475.00	kg/m ³
Agua:	280.06	L/m ³
Arena:	695.04	kg/m ³
Piedra:	733.27	kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 6.9. Dosificación de concreto con microfibras 200g/m³

Concreto con Fibra 200 g		
Materiales	Peso obra	Unidad
Cemento:	475.00	kg/m ³
Agua:	280.06	L/m ³
Arena:	695.04	kg/m ³
Piedra:	733.27	kg/m ³
Fibra:	200.00	g/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 6.10. Dosificación de concreto con microfibra 300g/m³

Concreto con Fibra 300 g		
Materiales	Peso obra	Unidad
Cemento:	475.00	kg/m ³
Agua:	280.06	L/m ³
Arena:	695.04	kg/m ³
Piedra:	733.27	kg/m ³
Fibra:	300.00	g/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 6.11. Dosificación de concreto con microfibra 400g/m³

Concreto con Fibra 400 g		
Materiales	Peso obra	Unidad
Cemento:	475.00	kg/m ³
Agua:	280.06	L/m ³
Arena:	695.04	kg/m ³
Piedra:	733.27	kg/m ³
Fibra:	400.00	g/m ³

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO VII. ENSAYOS DEL CONCRETO

7.1. CONCRETO EN ESTADO FRESCO

7.1.1. Asentamiento (NTP 339.035)

Es una propiedad del concreto fresco que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez (mayor facilidad del concreto para fluir durante su colocación). La consistencia del concreto fresco depende del contenido de agua de diseño y las propiedades físicas de los agregados.

Una mezcla que tenga un asentamiento grande debido al mayor consumo de agua, reduce su resistencia a la compresión, aumenta la segregación, exudación y aumenta la contracción por secado; pero reduce la impermeabilidad del concreto por la formación de una membrana acuosa en la superficie inferior de los agregados.

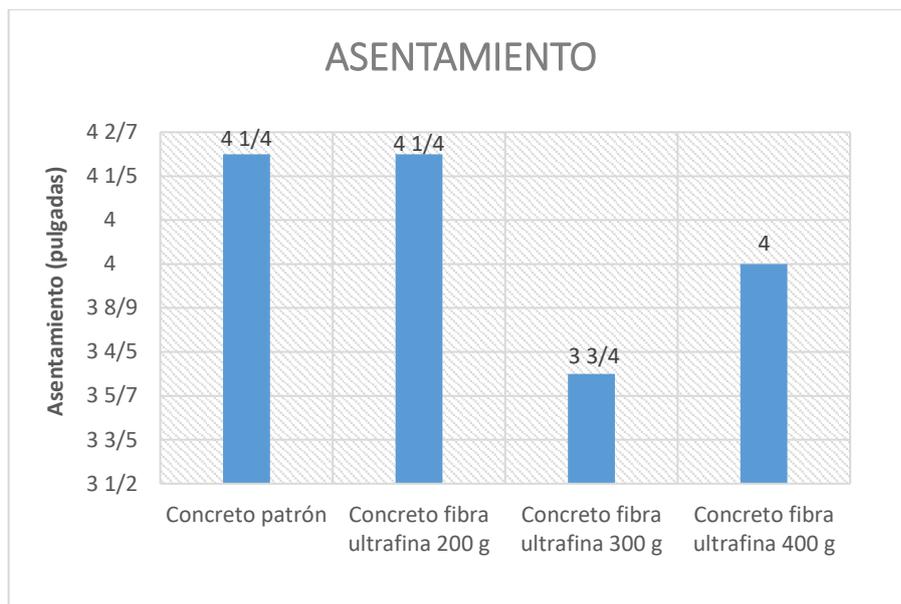
Para el ensayo de asentamiento se coloca una muestra de concreto fresco en un molde de forma troncocónico y se compacta por varillado con veinticinco golpes por capa (se llenará en tres capas). El molde se retira hacia arriba permitiendo el asentamiento del concreto, se coloca el cono de Abrams al costado de la muestra de concreto para medir la distancia vertical (al centro de la superficie superior del concreto) entre el cono y la muestra de concreto asentado, dicha medida se conoce como asentamiento del concreto como se muestra en la Tabla N°7.1

Tabla N° 7.1. Ensayo de Asentamiento

Tipo de Concreto	Asentamiento (pulgadas)
Concreto patrón	4 1/4
Concreto con fibra ultrafina 200 g	4 1/4
Concreto con fibra ultrafina 300 g	3 3/4
Concreto con fibra ultrafina 400 g	4

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.1. Ensayo de Asentamiento



Fuente: Elaboración Propia

7.1.2. Peso Unitario (NTP 339.046)

La densidad, conocido anteriormente como peso unitario, del concreto es el peso varillado de una muestra de concreto por unidad de volumen. La densidad del concreto fresco depende del peso específico y la cantidad de los agregados, y del contenido de aire.

El ensayo del peso unitario del concreto fresco consiste en llenar un recipiente (ver tabla N°7.2) en tres capas aproximadamente de igual volumen, apisonar con 25 golpes de la barra compactadora lisa de 16 mm de diámetro y 60 cm de longitud (en la primera capa evitar golpear el fondo y en la segunda y tercera capa la varilla penetra 25 mm a la capa inferior), además después de cada capa apisonada se golpea con un mazo de goma el recipiente de 10 a 15 veces por capa. El concreto de la última capa del molde será alisado en su borde superior y limpiada la mezcla en exceso para luego determinar la masa del concreto.

Tabla N° 7.2. Capacidad de los recipientes de medición

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Capacidad del recipiente de medición [^]	
pulg	mm	pie3	L
1	25.0	0.2	6
1 1/2	37.5	0.4	11
2	50.0	0.5	14
3	75.0	1.0	28
4 1/2	112.0	2.5	70
6	150.0	3.5	100

[^] Tamaños indicados de recipientes de medición que se usaran para ensayar concreto que contiene agregados de tamaño máximo nominal igual o más pequeño que los listados. El volumen real del recipiente será por lo menos 95% del volumen nominal listado.

Fuente: NTP 339.046 -Tabla 1

Para los cálculos se usará la siguiente formula.

$$PU = \frac{(Mc - Mm)}{Vm}$$

Donde.

Mc: masa del recipiente de medida lleno de concreto, en kg

Mm: masa del recipiente de medida, en kg

Vm: volumen del recipiente de medida, en m³

Tabla N° 7.3. Resultados de laboratorio

Tipo de concreto	Peso (Kg) muestra + balde	Peso de balde (Kg)
Concreto patrón	26.46	4.80
	26.51	4.81
	26.44	4.82
Concreto con fibra ultrafina 200g/m ³	26.30	4.82
	26.33	4.82
	26.42	4.82
Concreto con fibra ultrafina 300g/m ³	26.24	4.80
	26.22	4.80
	26.19	4.80
Concreto con fibra ultrafina 400g/m ³	26.22	4.80
	26.17	4.80
	26.22	4.80

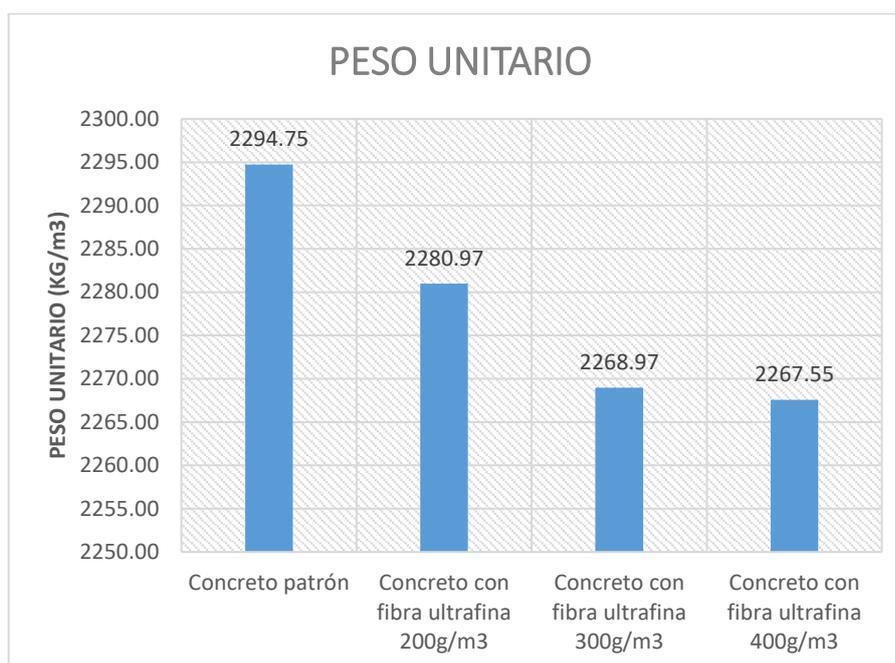
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 7.4. Ensayo de peso unitario

Tipo de concreto	Peso unitario (kg/m ³)
Concreto patrón	2294.75
Concreto con fibra ultrafina 200g/m ³	2280.97
Concreto con fibra ultrafina 300g/m ³	2268.97
Concreto con fibra ultrafina 400g/m ³	2267.55

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.2. Ensayo de peso unitario



Fuente: Elaboración Propia

7.1.3. Fluidez (NTP 339.085)

Este ensayo permite medir el flujo del concreto fresco a través de un índice de flujo que depende de la cantidad de agua en el concreto, esta propiedad del concreto también mide la tendencia a la segregación mediante la expansión del concreto cuando es sometido a esfuerzos externos en este caso por sacudidas de la mesa.

Para realizar el ensayo se humedece la mesa de sacudidas y el molde metálico de forma troncocónico con diámetro de base mayor de 250 mm, diámetro de base menor de 170 mm y altura de 130 mm; se llenará con concreto fresco en dos capas de volúmenes iguales, con 25 golpes por capa (varilla de compactar 16 mm de diámetro y 60 cm de longitud), se enrasa la superficie para luego retirar el molde

de manera vertical. Se mueve la manivela de la mesa de sacudidas dejando caer la mesa 15 veces en 15 segundos, finalmente se tomarán 6 medidas de diámetros sobre la muestra esparcida. Para el cálculo de la fluidez se usará la siguiente fórmula.

$$Flujo (\%) = \frac{(D - 25)}{25} \times 100\%$$

Donde:

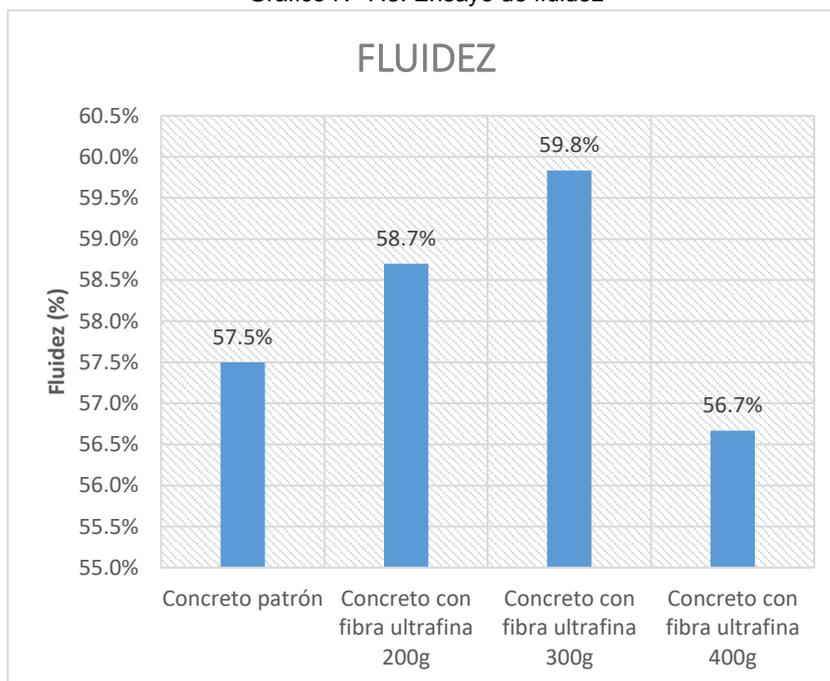
D: diámetro expandido promedio (cm)

Tabla N° 7.5. Ensayo de fluidez

Tipo de concreto	D prom. (cm)	% fluidez
Concreto patrón	39.38	57.5%
Concreto con fibra ultrafina 200g	39.68	58.7%
Concreto con fibra ultrafina 300g	39.96	59.8%
Concreto con fibra ultrafina 400g	39.17	56.7%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.3. Ensayo de fluidez



Fuente: Elaboración Propia

7.1.4. Contenido de aire (NTP 339.080)

El aire atrapado durante el preparado, transporte y colocado de la mezcla de concreto genera burbujas, si estas burbujas ocupan un porcentaje considerable dentro del concreto hará que su resistencia disminuya. La presencia significativa

de materiales con tamaños menores del N°100 o N°200 en forma de arcilla, provenientes de agregados finos y gruesos sucios pueden reducir el contenido de aire, pero un incremento de material en las mallas N°30 a N°50 pueden aumentar el contenido de aire.

Para calcular el contenido de aire de una mezcla de concreto fresco por método de presión, se usará el medidor tipo B.

El principio de funcionamiento de este medidor consiste en igualar un volumen conocido de aire a una presión conocida en una cámara sellada de aire con el volumen desconocido de aire en la muestra de concreto, donde el dial del manómetro se calibra en términos de porcentaje de aire para la presión observada a la cual tiene lugar la igualación. (ASTM C213, 2014, p.03).

Para realizar este ensayo se procede a humedecer el medidor tipo B y ubicar en una superficie plana y firme; llenar el recipiente en tres capas de igual volumen y compactar con la varilla con 25 golpes por capa; (la primera capa se compactará sin golpear el fondo, las siguientes capas se compactan penetrando 25 mm a la capa inmediato inferior); enrasar la mezcla de la última capa, limpiar y humedecer el interior de la cubierta antes de acoplarla con las mordazas a la base. Abrir ambas llaves de purga. Cerrar la válvula principal de aire entre la cámara y el tazón y abrir ambas llaves de purga a través de la cubierta. Inyectar agua a través de una de las llaves de purga hasta que se salga por la otra sin formar burbujas. Cerrar la válvula de escape de aire y bombear aire dentro de la cámara hasta que el manómetro este en la línea de presión inicial. Ajustar el manómetro en la línea de presión inicial por bombeo o deje escapar aire si es necesario dando ligeros golpes con la mano. Cerrar ambas llaves de purga. Abrir la válvula principal entre la cámara de aire y el tazón. Dar pequeños golpes en los lados del tazón con el mazo. Leer el porcentaje de aire, golpeando con la mano ligeramente el manómetro para estabilizar la lectura. Cerrar la válvula de aire principal y abrir las llaves de purga para descargar la presión, antes de remover la cubierta.

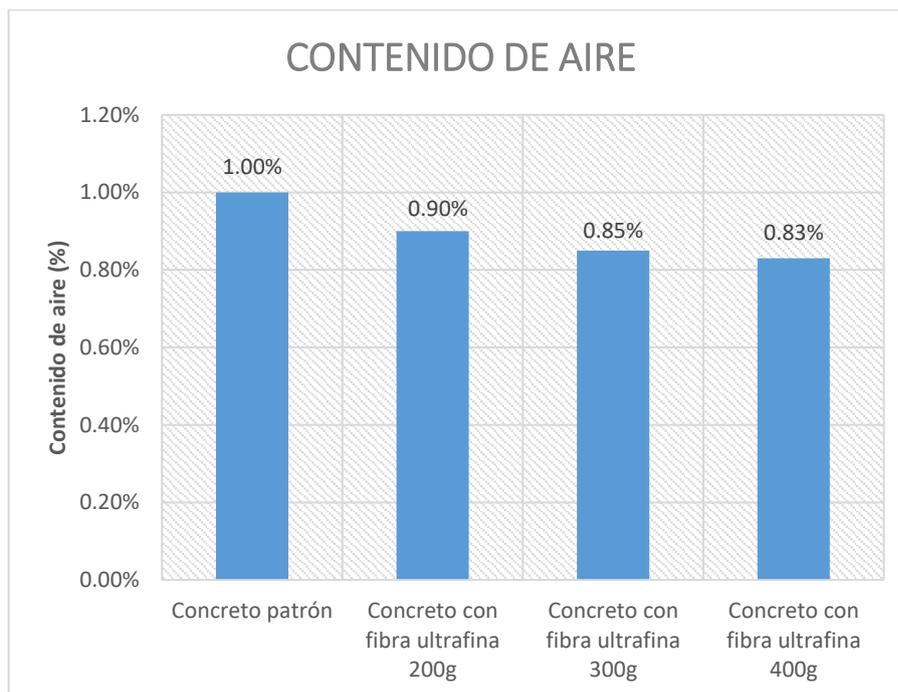
El contenido de aire de la mezcla de concreto fresco se obtiene de la lectura directa del manómetro.

Tabla N° 7.6. Ensayo del contenido de aire

Tipo de concreto	Contenido de Aire
Concreto patrón	1.00%
Concreto con fibra ultrafina 200g	0.90%
Concreto con fibra ultrafina 300g	0.85%
Concreto con fibra ultrafina 400g	0.83%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.4. Ensayo del contenido de aire



Fuente: Elaboración Propia

7.1.5. Exudación (NTP 339.077)

La exudación se produce de manera inevitable en el concreto, debido a que una parte del agua de la mezcla sube hacia la superficie debido a la sedimentación de los sólidos por diferencia de densidad, durante el tiempo que dura su fraguado. La exudación está influenciada por la presencia de finos en los agregados y la finura del cemento, a mayor presencia de materiales retenidos por la malla N°100 la exudación será menor.

Para realizar el ensayo de exudación se llena con concreto un recipiente de 1/2 pie³ o de 14 L en tres capas, con 25 golpes por cada capa usando el método de consolidado por varillado (5/8 de diámetro y 60 cm de longitud); excepto que la altura de llenado tendrá 1 pulgada libre, inmediatamente después de nivelar la

superficie de llenado se registra la hora y se determina el peso del recipiente y su contenido. Se coloca el recipiente en una superficie nivelada libre de vibraciones y cubrir el recipiente. Mantener cubierto el recipiente durante el ensayo. Se retira el agua de exudación acumulado sobre la superficie con pipeta o jeringa graduada a intervalos de 10 minutos durante los primeros 40 minutos, luego a intervalos de 30 minutos hasta finalice la exudación; registrar el tiempo de la última extracción.

La exudación se determina con la siguiente formula.

$$C = \left(\frac{w}{W}\right)S$$
$$Exudacion = \left(\frac{D}{C}\right) 100\%$$

Donde:

C= Masa del agua en la muestra de ensayo, en gramos

W= Masa total de la tanda, en Kg

w= Agua de mezclado neta (la cantidad de agua total menos el agua absorbida por los agregados), en Kg

S= Masa de la muestra, en gramos

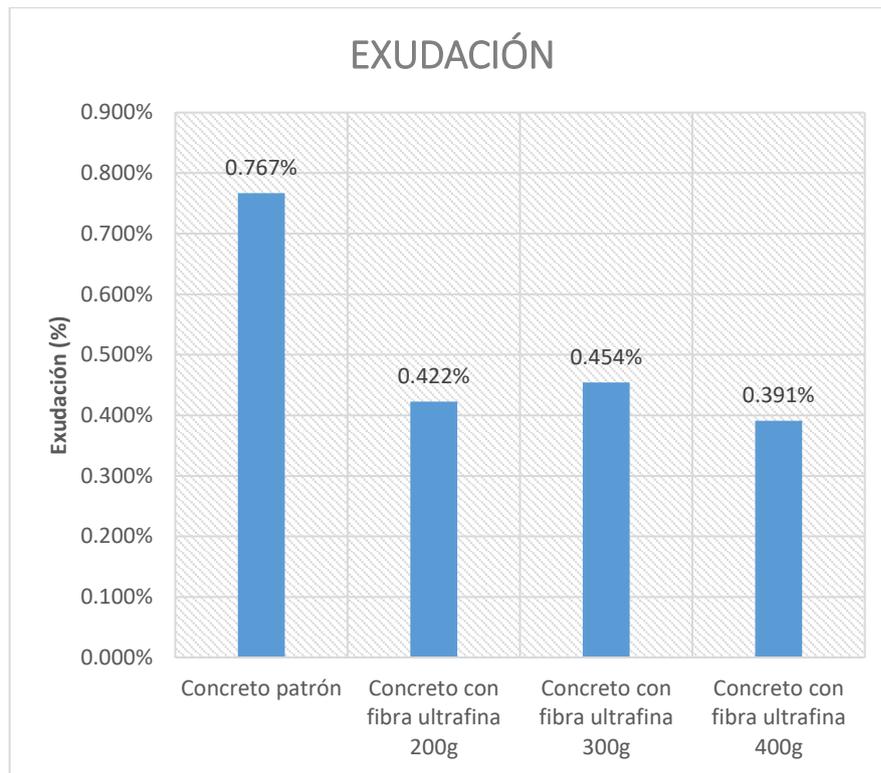
D= Masa del agua de exudación (gramos) o el volumen total extraído de la muestra de ensayo, en cm³, multiplicado por 1 g/cm³

Tabla N° 7.7. Ensayo de exudación

Tipo de concreto	Exudación (%)
Concreto patrón	0.767%
Concreto con fibra ultrafina 200g	0.422%
Concreto con fibra ultrafina 300g	0.454%
Concreto con fibra ultrafina 400g	0.391%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.5. Ensayo de exudación



Fuente: Elaboración Propia

7.1.6. Tiempo de Fragua (NTP 339.082)

El fraguado del concreto se entiende como un proceso de endurecimiento donde se va perdiendo la principal característica del concreto fresco, su plasticidad, el ensayo se realiza por la medida de la resistencia a la penetración en un mortero obtenido por tamizado del concreto por la malla N°4.

El fraguado inicial se caracteriza por un aumento en la viscosidad y pérdida de la plasticidad de la mezcla. A medida que pasa el tiempo el cemento reacciona con el agua de amasado y se forman cristales de esta manera el concreto empieza a ganar resistencia, este estado es conocido como el estado de fraguado final de la mezcla.

El tiempo de fraguado inicial es cuando el mortero alcanza una resistencia a la penetración de 500 lb/pulg². El tiempo de fraguado final es aquel tiempo transcurrido desde el contacto inicial del cemento con el agua, hasta que el concreto alcance una resistencia a la penetración de 4000 lb/pulg².

Procedimiento.

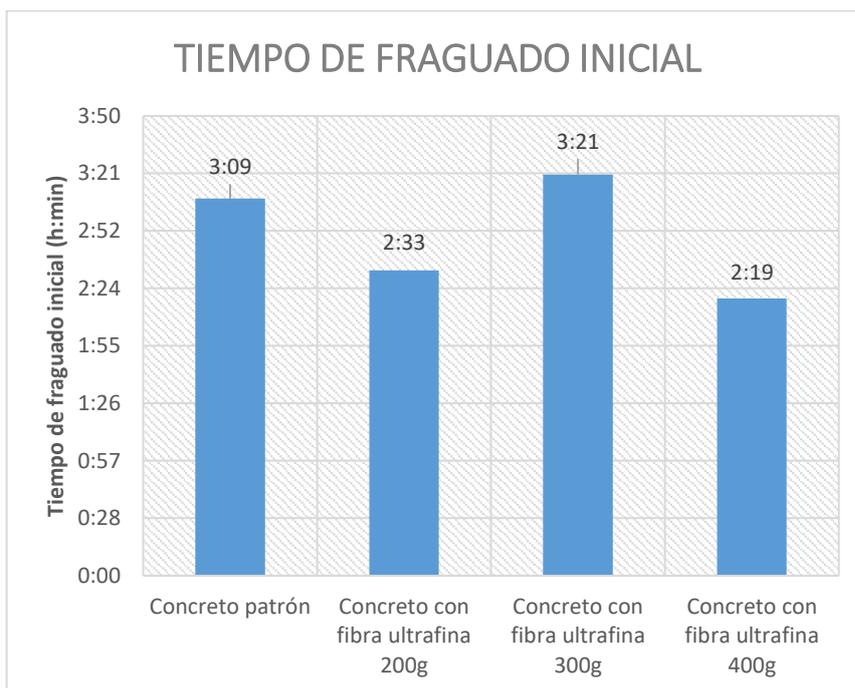
Tamizar la muestra de concreto por la malla N°4. Humedecer el recipiente y llenar con el mortero obtenido por tamizado, dando pequeños golpes para eliminar el aire atrapado. Retirar el agua de exudación antes de empezar el ensayo. Aplicar una fuerza vertical gradual y uniforme hacia abajo hasta logra penetrar 25 mm en 10 segundos, el cambio de aguja se realiza conforme la muestra va endureciendo. Registrar la fuerza aplicada, el área de la aguja de penetración y la hora del ensayo. En los ensayos posteriores evitar zonas donde ya fueron ensayadas, la distancia libre entre la aguja y sitio de ensayo anterior estarán separadas al menos por 2 veces el diámetro de la aguja, pero no menor a 15 mm. Para muestras normales y a temperaturas normales, el primer ensayo se hará después que haya transcurrido 3h a 4 h y los ensayos posteriores a cada hora. Para mezclas aceleradas o a altas temperaturas, el primer ensayo se realizará cuando haya transcurrido 1h a 2h y los ensayos posteriores a cada media hora. Para condiciones de baja temperatura o mezclas con retardante, el primer ensayo se realizará cuando haya transcurrido 4h a 6h o más, los ensayos posteriores a cada hora; a menos que el incremento de la resistencia a la penetración aumente más rápido de ser así los intervalos serán más cortos.

Tabla N° 7.8. Ensayo del tiempo de fragua

Tipo de concreto	Tiempo de fraguado inicial (h:min)	Tiempo de fraguado final (h:min)
Concreto patrón	3:09	4:21
Concreto con fibra ultrafina 200g	2:33	4:18
Concreto con fibra ultrafina 300g	3:21	4:56
Concreto con fibra ultrafina 400g	2:19	3:28

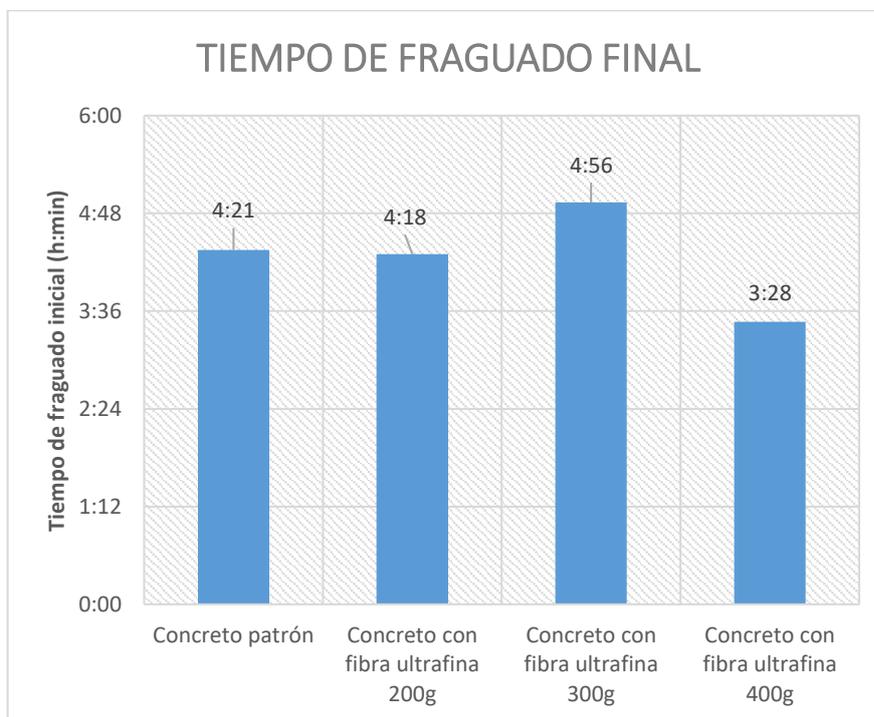
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.6. Tiempo de fragua inicial para concreto patrón y concretos con fibras



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.7. Tiempo de fragua final para concreto patrón y concretos con fibras



Fuente: Elaboración Propia

7.2. CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

7.2.1. Resistencia a la compresión (NTP 339.034)

La resistencia a la compresión axial del concreto es la característica mecánica más importante del concreto endurecido, ya que en esta condición presenta mayor capacidad para soportar esfuerzos, la resistencia a la compresión da una señal de la calidad del concreto porque depende de la composición de su estructura. Los elementos estructurales de concreto son diseñados con la finalidad de aprovechar su resistencia a la compresión del concreto.

Para el ensayo se aplica una carga de compresión axial a las probetas a una velocidad normalizada en un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de la probeta se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección transversal de la probeta.

$$R_c = \frac{4P}{\pi D^2}$$

Donde:

R_c= Resistencia a la compresión, en kg/cm²

P= Carga de rotura, en kg

D= Diámetro promedio de la probeta, en cm

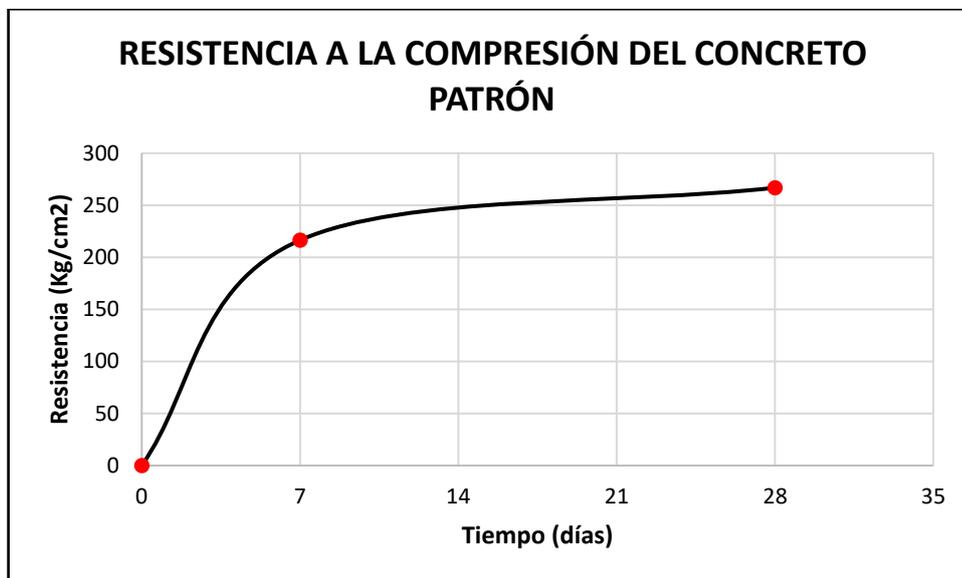
Concreto patrón.

Tabla N° 7.9. Resistencia a la compresión del concreto patrón

Tiempo (días)	Resistencia (kg/cm ²)
7	216.41
28	266.81

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.8. Resistencia a la compresión del concreto patrón



Fuente: Elaboración Propia

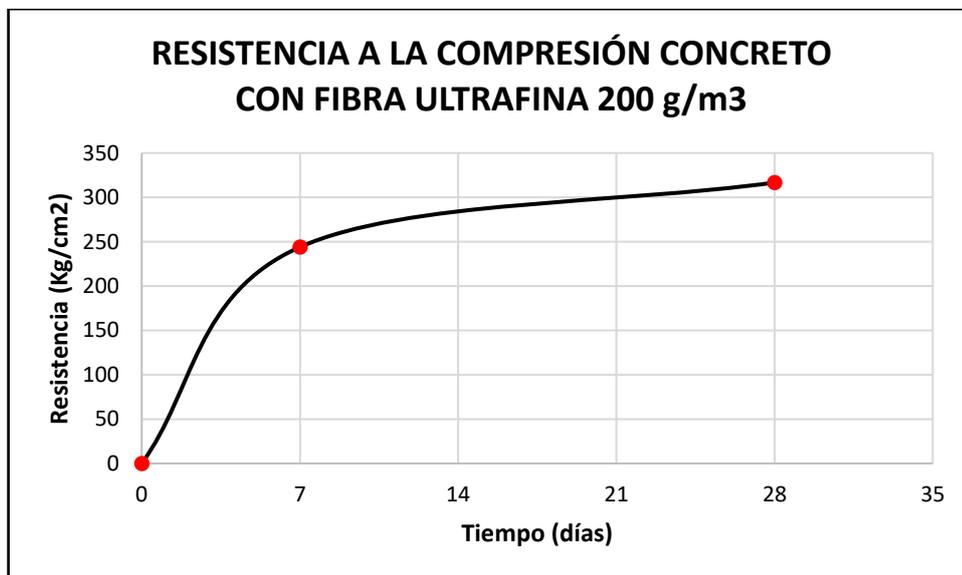
Concreto con fibra ultrafina 200 g/m³.

Tabla N° 7.10. Resistencia a la compresión del concreto con fibra ultrafina 200 g/m³

Tiempo (días)	Resistencia (kg/cm ²)
7	243.96
28	316.71

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.9. Resistencia a la compresión del concreto con fibra ultrafina 200g/m³



Fuente: Elaboración Propia

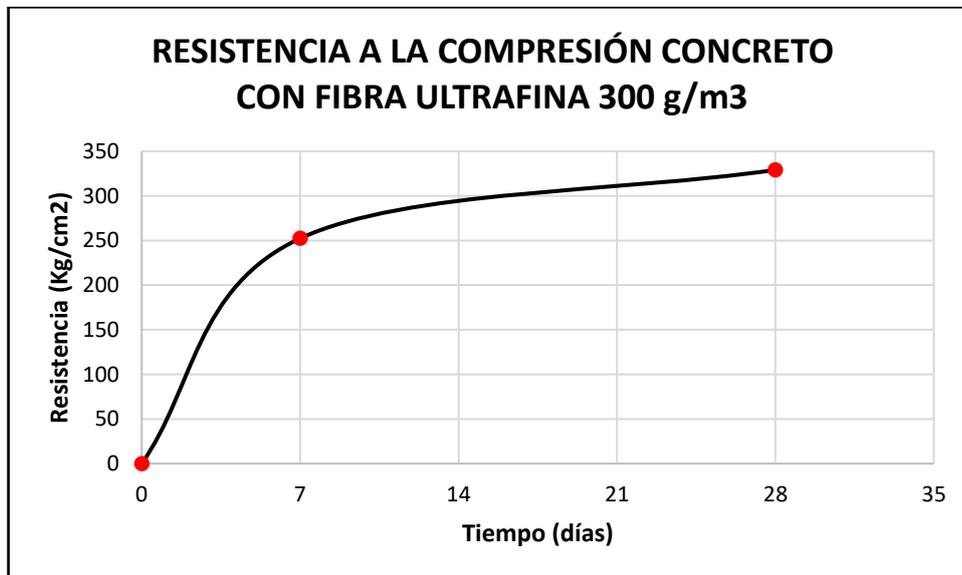
Concreto con fibra ultrafina 300 g/m³.

Tabla N° 7.11. Resistencia a la compresión del concreto con fibra ultrafina 300 g/m³

Tiempo (días)	Resistencia (kg/cm ²)
7	252.29
28	329.06

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.10. Resistencia a la compresión del concreto con fibra ultrafina 300 g/m³



Fuente: Elaboración Propia

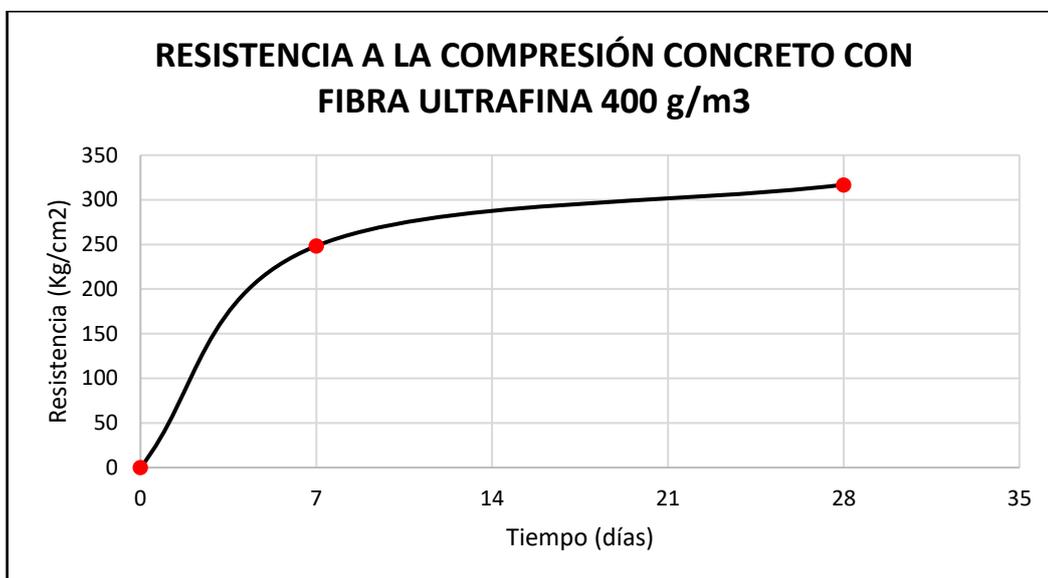
Concreto con fibra ultrafina 400 g/m³.

Tabla N° 7.12. Resistencia a la compresión del concreto con fibra ultrafina 400 g/m³

Tiempo (días)	Resistencia (kg/cm ²)
7	248.28
28	316.83

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.11. Resistencia a la compresión del concreto con fibra ultrafina 400 g/m³



Fuente: Elaboración Propia

7.2.2. Resistencia a la tracción por compresión diametral (NTP 339.084)

El concreto tiene una baja resistencia a la tracción, por eso esta propiedad no se toma en cuenta en el diseño de estructuras. Sin embargo, la tensión tiene importancia en el agrietamiento del concreto debido a la contracción inducida por el secado o la disminución de la temperatura.

El ensayo de tracción por compresión diametral o tracción indirecta es un método simple, fácil y representativo; resulta difícil medir la resistencia a la tracción directa, debido a las dificultades de montar las muestras y las incertidumbres que existen

sobre esfuerzos secundarios inducidos por los implementos que sujetan a las muestras.

Este ensayo consiste en la aplicación de una fuerza de compresión diametral en el sentido longitudinal de una probeta cilíndrica de concreto a una velocidad dentro de un rango establecido hasta que se produzca la falla. Esta carga induce a los esfuerzos de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de la carga vertical, y los esfuerzos de compresión relativamente altos en el área inmediatamente circundante a la carga aplicada. Éste esfuerzo de tracción es la que genera primero la falla en el plano diametral, porque el concreto soporta mayores esfuerzos por compresión.

$$R_t = \frac{2P}{\pi \times D \times L}$$

Donde:

R_t= Resistencia a la tracción, en kg/cm²

P= Carga de rotura, en kg

D= Diámetro promedio de probeta, en kg

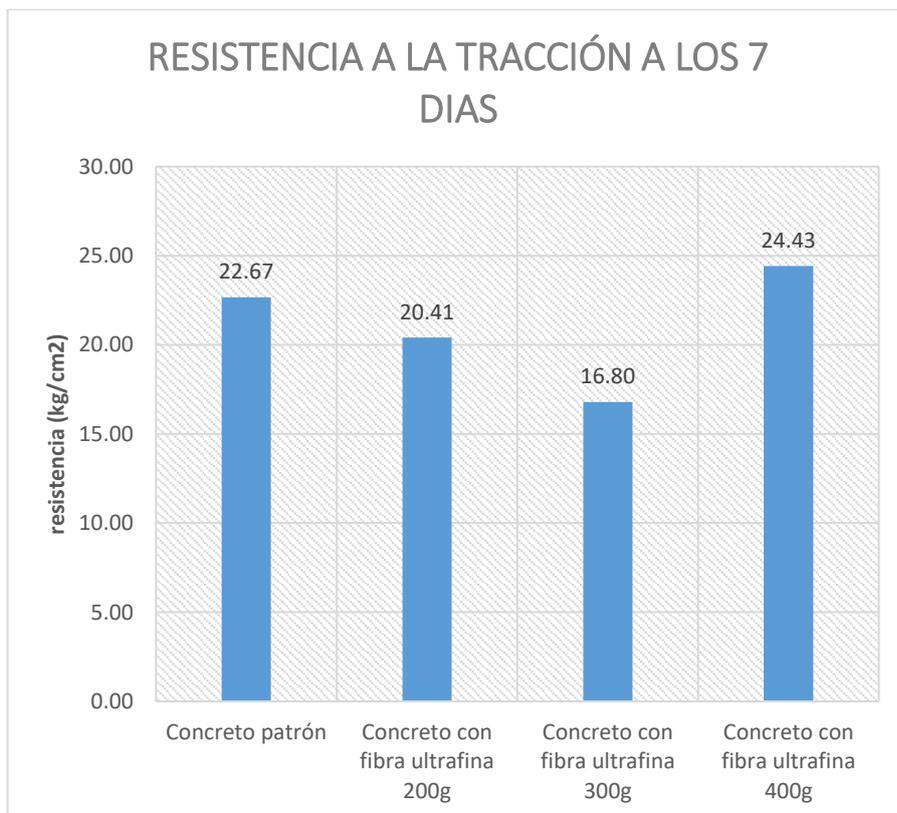
L= Longitud de probeta, en cm

Tabla N° 7.13. Resistencia a la tracción por compresión diametral a los 7 días

Tipo de concreto	Resistencia a la tracción a los 7 días (Kg/cm²)
Concreto patrón	22.67
Concreto con fibra ultrafina 200 g/m ³	20.41
Concreto con fibra ultrafina 300 g/m ³	16.80
Concreto con fibra ultrafina 400 g/m ³	24.43

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.12. Resistencia a la tracción por compresión diametral a los 7 días



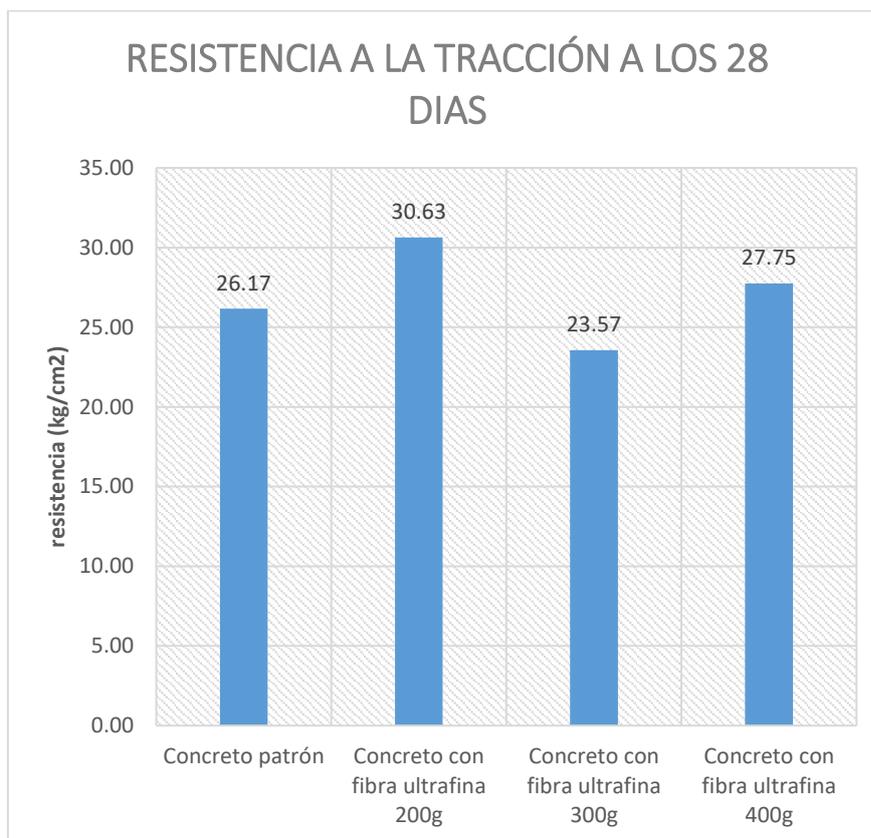
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 7.14. Resistencia a la tracción por compresión diametral a los 28 días

Tipo de concreto	Resistencia a la tracción a los 28 días (Kg/cm ²)
Concreto patrón	26.17
Concreto con fibra ultrafina 200g	30.63
Concreto con fibra ultrafina 300g	23.57
Concreto con fibra ultrafina 400g	27.75

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.13. Resistencia a la tracción por compresión diametral a los 28 días



Fuente: Elaboración Propia

7.2.3. Módulo elástico estático (ASTM-C469)

Los materiales en general tienen un comportamiento elástico hasta que alcanzan una cierta deformación, el concreto mantiene un comportamiento elástico hasta que el esfuerzo aplicado sea aproximadamente el 40% de su resistencia a la compresión. El concreto presenta propiedades elásticas en cierto rango de deformación, de esta manera se puede asumir que el concreto no tiene un comportamiento netamente elástico.

El módulo elástico para el concreto se puede definir como la pendiente de una cuerda que pasa a través de dos puntos que pertenecen a la curva esfuerzo deformación, dichos puntos son:

Punto de la curva esfuerzo-deformación que corresponde a una deformación unitaria de 0.5×10^{-4} y su esfuerzo correspondiente.

Punto de la curva esfuerzo-deformación que corresponda al 40% de la resistencia a la compresión y la deformación para ese punto.

El módulo de elasticidad se calcula con la siguiente fórmula.

$$E = \frac{S_2 - S_1}{(\varepsilon_2 - 0.00005)}$$

Donde:

E= Módulo de elasticidad secante, en kg/cm²

S₂= Esfuerzo correspondiente al 40% de f'c, en kg/cm²

S₁= Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria, ε_1 , de 5×10^{-5} , en kg/cm²

ε_2 = Deformación unitaria producida por el esfuerzo S₂

Tabla N° 7.15. Ensayo del módulo de elasticidad a los 28 días

Tipo de concreto	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)
Concreto patrón	287954.55
Concreto con fibra ultrafina 200g	326607.33
Concreto con fibra ultrafina 300g	307993.41
Concreto con fibra ultrafina 400g	303161.20

Fuente: Elaboración Propia

7.3. CONTRACCIÓN EN EL CONCRETO

7.3.1. Ensayo de la Contracción restringida (AASHTO T 334-08)

Este método cubre la determinación de la tendencia al agrietamiento de especímenes de concreto restringido. El procedimiento determina los efectos de las variaciones en las propiedades del concreto en relación con el tiempo hasta el agrietamiento del concreto cuando está restringido. El procedimiento es comparativo y no tiene la intención de determinar el momento del agrietamiento inicial del concreto colocado en un tipo específico de estructura.

Equipo.

- Anillo de acero interior. El anillo de acero estándar debe tener un grosor de 12.7 mm ± 0.4 mm (1/2 pulg ± 1/64 pulg), un diámetro exterior de 305 mm (12 pulg) y una altura de 152 mm (6 pulg). Como se muestra en la Figura N°7.1. Las caras interiores y exteriores deberán ser superficies lisas.
- Anillo de acero exterior. El anillo de acero debe tener un diámetro interior de 457 mm ± 5 mm y una altura de 152 mm (6 pulg).

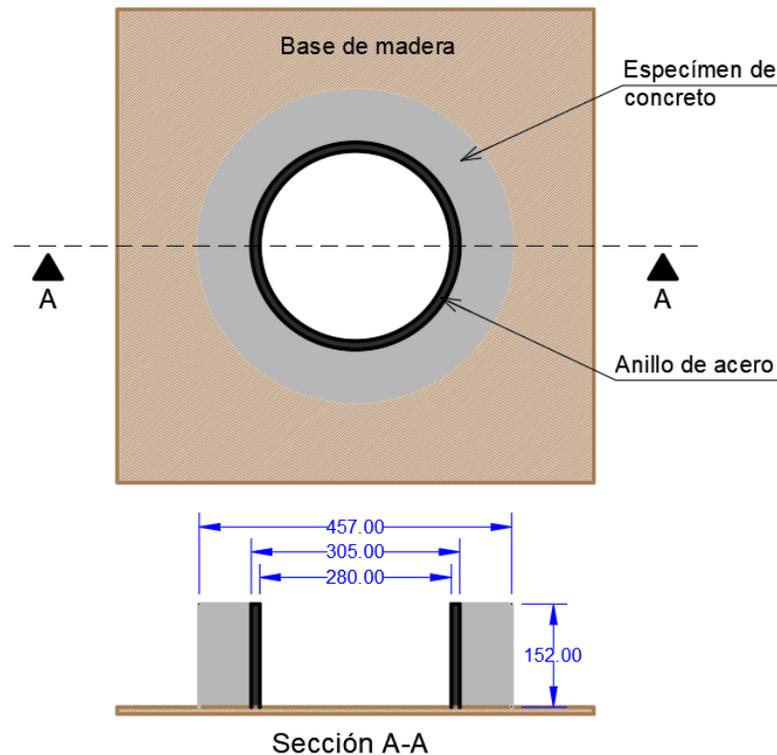


Figura N° 7.1. Molde para la prueba de tendencia al agrietamiento

Fuente: Elaboración Propia

- Base. La base será de material no absorbente, puede ser base de madera cubierta de resina o madera recubierta de polietileno (3 mm) para minimizar la fricción del concreto. En el ensayo se usó base de madera barnizado con laca.
- Varilla de acero liso, de 5/8 pulgada de diámetro y 60 cm de longitud con extremos redondeados.
- Mazo de goma.
- Regla para nivelar.
- Poza de curado.

Procedimiento.

- Cubrir la superficie exterior del anillo interior con un desmoldante.
- Cubrir la superficie interior del anillo exterior con un desmoldante.
- Llenar el molde en tres capas de igual volumen. compactar por varillado con 30 golpes equidistantes y homogéneamente distribuidas por cada capa, con una varilla de 5/8 pulg de diámetro, en la primera capa se tendrá cuidado de no golpear el fondo del molde en las capas siguientes la varilla deberá penetrar aproximadamente 25 mm en la capa inmediato inferior. Ver figura N°7.2

- Se compacta con 12 golpes de mazo de goma, distribuidos con 3 golpes por cuadrante, por cada capa de vaciado para ayudar a compactar y reducir las burbujas de aire atrapadas en el concreto.
- Terminar el acabado de llenado en el molde enrasando la superficie con la ayuda de una regla para dejar una superficie nivelada. Limpiar la base de madera del molde interior y exterior al molde del anillo de los restos de concreto fresco desprendidos durante el llenado de concreto.
- Dejar el molde con concreto fresco expuesto al sol a condiciones ambientales, en este ensayo las muestras se dejaron en la azotea del Laboratorio de Ensayo de Materiales como se muestra en la figura N°7.3
- Desmoldar el anillo exterior y la base después de 24 ± 1 hora de exposición a la intemperie, para su posterior curado. Ver la figura N°7.4



Figura N° 7.2. Anillo de contracción (Izquierda: proceso de llenado; Derecha: lleno de concreto)

Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 7.3. Moldes con concreto expuestos al sol en la azotea de LEM

Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 7.4. Desmoldado del anillo exterior y la base para el curado de la muestra

Fuente: Elaboración Propia

Mediciones.

- Registrar las condiciones atmosféricas (temperatura y humedad relativa) del ambiente de prueba.
- Después del agrietamiento, observar el patrón de agrietamiento y medir los anchos de agrietamiento en la cara radial exterior y en la superficie.
- Monitorear las muestras durante dos semanas adicionales después de la fisuración, midiendo el ancho y longitud de las grietas para poder caracterizar la disminución del soporte y el patrón de grieta.

A continuación, se muestran el fisurómetro que fue utilizado para medir la longitud y el espesor de las fisuras y el microscopio AMCap usado para visualizar las fisuras con mayor detalle (ver Figura N° 7.5).



Figura N° 7.5. Microscopio AMCap para visualizar fisuras.

7.3.1.1. Concreto patrón

Después de curar la muestra durante siete días se enumeró la cantidad de fisuras generadas en la superficie superior y en la superficie lateral (ver figura N°7.6) por cada muestra ensayada.



Figura N° 7.6. Fisuras superficiales y laterales enumeradas.

Fuente: Fotografía Propia

Se realizó el conteo de las fisuras superficiales y laterales para las cinco muestras de ensayos realizados para el concreto patrón, las cantidades por cada muestra se detallan en la Tabla N°7.16.

Tabla N° 7.16. Cantidad de fisuras superficiales y laterales en el concreto patrón

Muestra	Cantidad de fisuras	
	Superficial	Lateral
M1	7.0	5.0
M2	7.0	7.0
M3	5.0	3.0
M4	18.0	24.0
M5	14.0	25.0

Fuente: Elaboración Propia

Por cuestiones didácticas se muestran las longitudes y anchos promedios de las fisuras superficiales y de las fisuras laterales para cada muestra de concreto (ver Tabla N°7.17), la información más detallada de cada muestra de anillo de concreto se brinda en el anexo de esta investigación.

Tabla N° 7.17. Fisuras superficiales y laterales con longitudes y anchos promedios del concreto patrón

Muestra	Fisura superficial		Fisura lateral	
	Longitud (mm)	ancho (mm)	Longitud (mm)	ancho (mm)
M1	25.60	0.14	30.44	0.16
M2	25.81	0.14	41.71	0.17
M3	24.62	0.10	33.00	0.17
M4	19.08	0.19	15.88	0.13
M5	16.75	0.19	22.68	0.26

Fuente: Elaboración Propia

Las fisuras superficiales generadas en los moldes del anillo de contracción se observan con más detalle usando el Microscopio AMCap (Figura N°7.7).

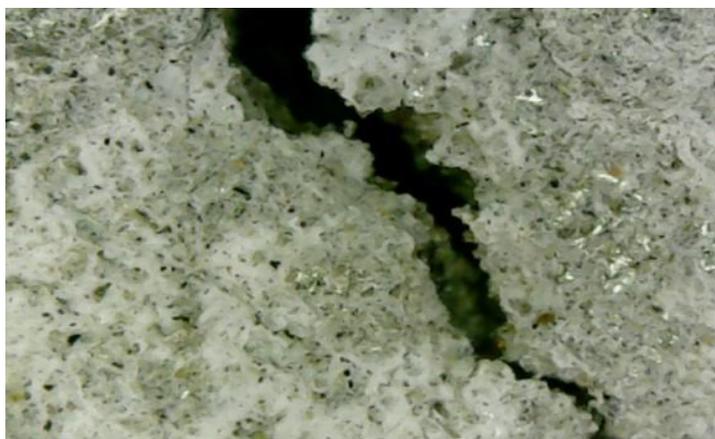


Figura N° 7.7. Fisura superficial del concreto patrón, captada con el microscopio AMCap

Fuente: Fotografía Propia

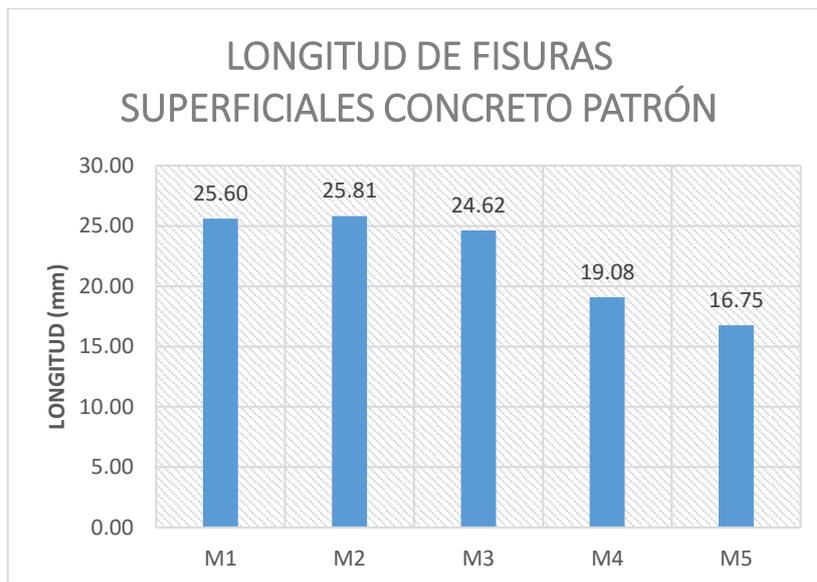
Las fisuras laterales generadas en los moldes del anillo de contracción se observan con más detalle usando el Microscopio AMCap (Figura N°7.8).



Figura N° 7.8. Fisura lateral del concreto patrón, captada con el microscopio AMCap

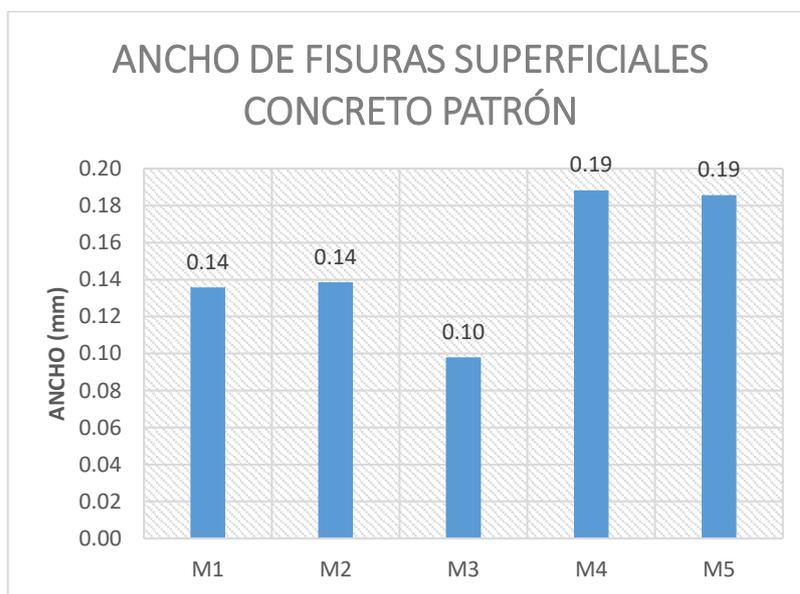
Fuente: Fotografía Propia

Gráfico N° 7.14. Longitud promedio de fisuras superficiales del concreto patrón



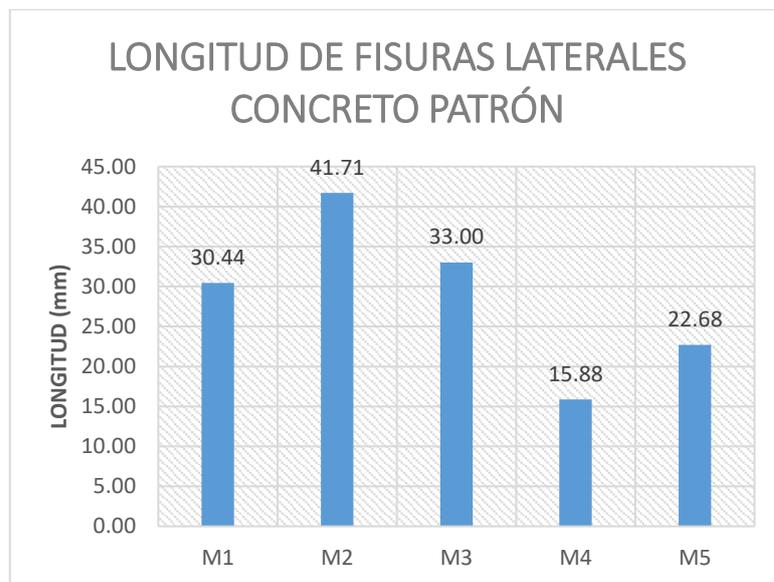
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.15. Ancho promedio de fisuras superficiales del concreto patrón



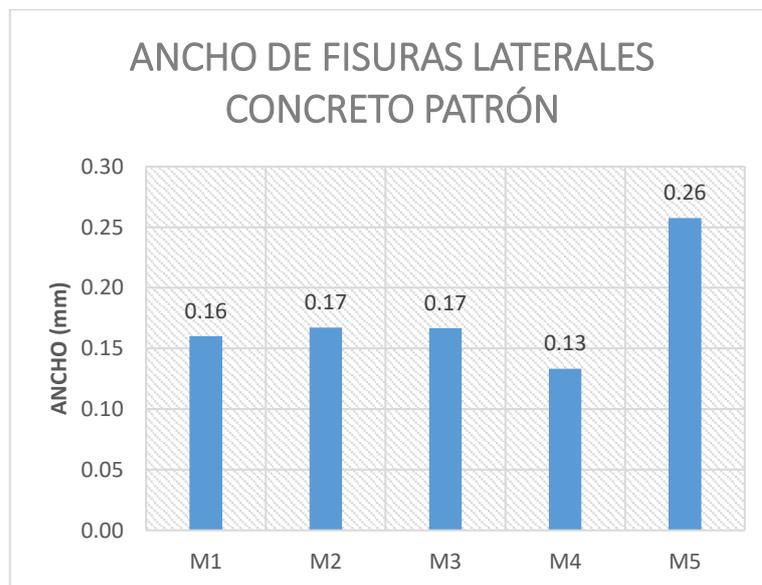
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.16. Longitud promedio de fisuras laterales del concreto patrón



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.17. Ancho promedio de fisuras laterales del concreto patrón



Fuente: Elaboración Propia

7.3.1.2. Concreto con fibra ultrafina 200 g/m³

Después de curar la muestra durante siete días se enumeró la cantidad de fisuras generadas en la superficie superior y en la superficie lateral (ver figura N°7.9) por cada muestra ensayada.



Figura N° 7.9. Fisuras superficiales y laterales enumeradas.

Fuente: Fotografía Propia

Se realizó el conteo de las fisuras superficiales y laterales para las cinco muestras de ensayos realizados para el concreto con una concentración de 200 g/m³ de fibra ultrafina, las cantidades por cada muestra se detallan en la Tabla N°7.18.

Tabla N° 7.18. Cantidad de fisuras superficiales y laterales en el concreto con fibra ultrafina 200g/m³

Muestra	Cantidad de fisuras	
	Superficial	Lateral
M1	4.0	5.0
M2	7.0	9.0
M3	6.0	8.0
M4	9.0	13.0
M5	12.0	10.0

Fuente: Elaboración Propia

Por cuestiones didácticas se muestran las longitudes y anchos promedios de las fisuras superficiales y de las fisuras laterales para cada muestra de concreto (ver Tabla N°7.19), la información más detallada de cada muestra de anillo de concreto se brinda en el anexo de esta investigación.

Tabla N° 7.19. Fisuras superficiales y laterales con longitudes y anchos promedios del concreto con fibra ultrafina 200 g/m3

Muestra	Fisura superficial		Fisura lateral	
	Long (mm)	ancho (mm)	Long (mm)	ancho (mm)
M1	26.75	0.15	25.00	0.16
M2	19.57	0.10	22.67	0.09
M3	19.33	0.15	20.88	0.13
M4	11.44	0.09	16.54	0.09
M5	14.83	0.09	16.70	0.06

Fuente: Elaboración Propia

Las fisuras superficiales generadas en los moldes del anillo de contracción se observan con más detalle usando el Microscopio AMCap (Figura N°7.10).



Figura N° 7.10. Fisura superficial del concreto con fibra ultrafina 200 g/m3, captada con el microscopio AMCap

Fuente: Fotografía Propia

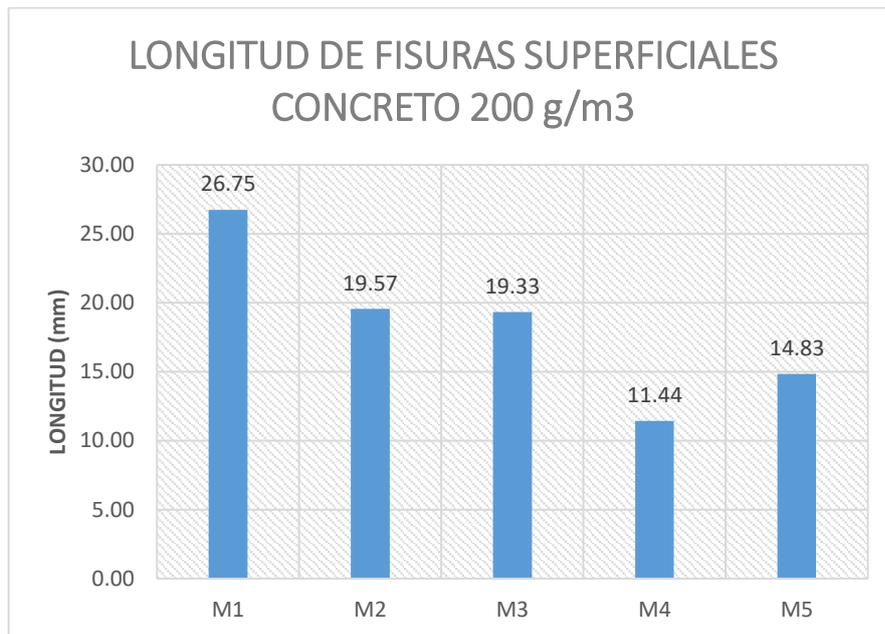
Las fisuras laterales generadas en los moldes del anillo de contracción se observan con más detalle usando el Microscopio AMCap (Figura N°7.11).



Figura N° 7.11. Fisura lateral del concreto con fibra ultrafina 200 g/m3, captada con el microscopio AMCap

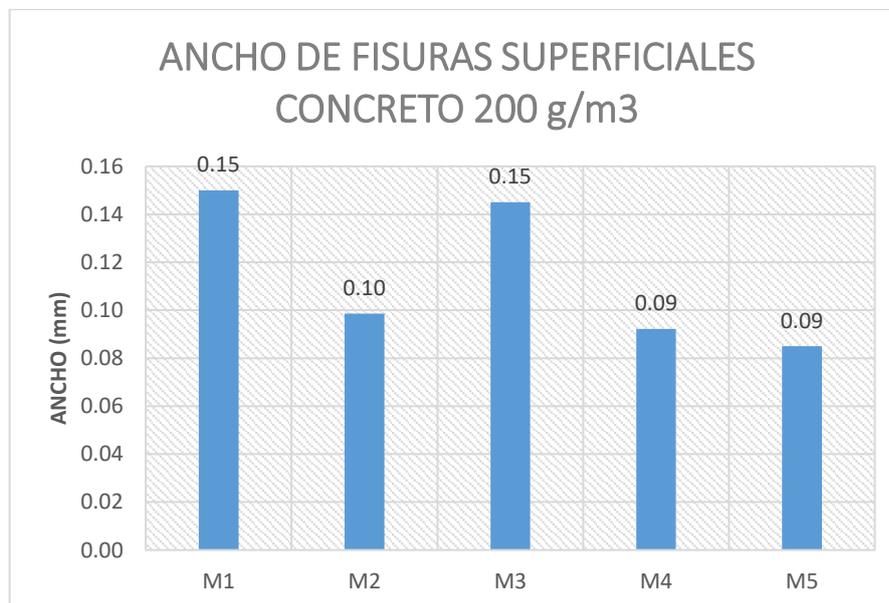
Fuente: Fotografía Propia

Gráfico N° 7.18. Longitud promedio de fisuras superficiales del concreto con fibra ultrafina 200g/m³



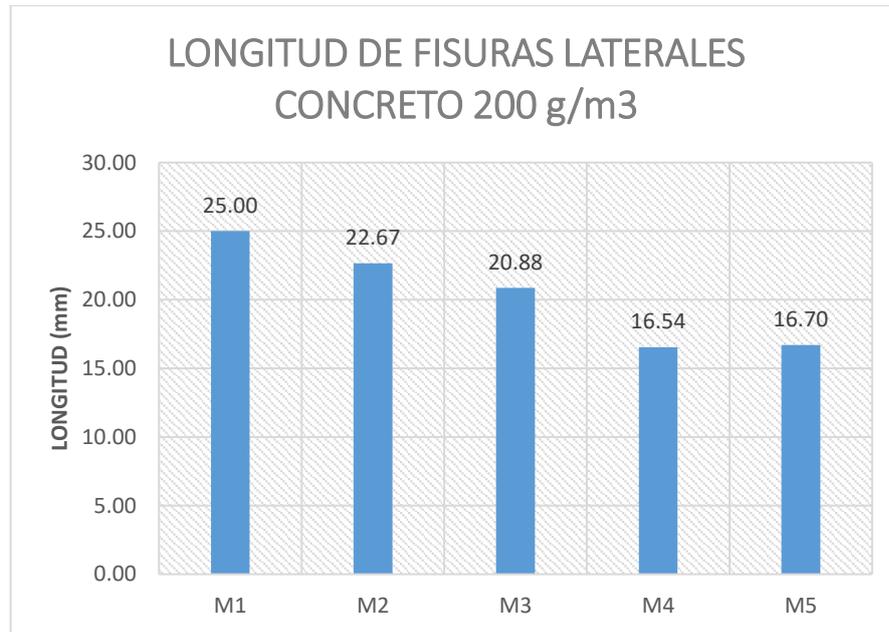
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.19. Ancho promedio de fisuras superficiales del concreto con fibra ultrafina 200 g/m³



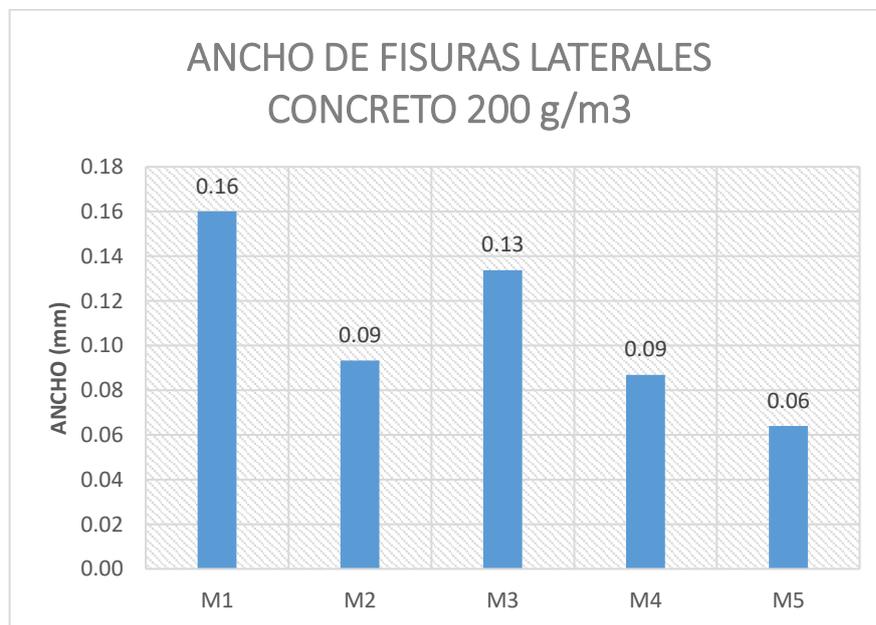
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.20. Longitud promedio de fisuras laterales del concreto con fibra ultrafina 200 g/m³



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.21. Ancho promedio de fisuras laterales del concreto con fibra ultrafina 200 g/m³



Fuente: Elaboración Propia

7.3.1.3. Concreto con fibra ultrafina 300 g/m³

Después de curar la muestra durante siete días se enumeró la cantidad de fisuras generadas en la superficie superior y en la superficie lateral (ver figura N°7.12) por cada muestra ensayada.



Figura N° 7.12. Fisuras superficiales y laterales enumeradas.
Fuente: Fotografía Propia

Se realizó el conteo de las fisuras superficiales y laterales para las cinco muestras de ensayos realizados para el concreto con una concentración de 300 g/m³ de fibra ultrafina, las cantidades por cada muestra se detallan en la Tabla N°7.20.

Tabla N° 7.20. Cantidad de fisuras superficiales y laterales en el concreto con fibra ultrafina 300 g/m³

Muestra	Cantidad de fisuras	
	Superficial	Lateral
M1	11.0	9.0
M2	8.0	10.0
M3	5.0	9.0
M4	6.0	11.0
M5	7.0	21.0

Fuente: Elaboración Propia

Por cuestiones didácticas se muestran las longitudes y anchos promedios de las fisuras superficiales y de las fisuras laterales para cada muestra de concreto (ver Tabla N°7.21), la información más detallada de cada muestra de anillo de concreto se brinda en el anexo de esta investigación.

Tabla N° 7.21. Fisuras superficiales y laterales con longitudes y anchos promedios del concreto con fibra ultrafina 300 g/m³

Muestra	Fisura superficial		Fisura lateral	
	Long (mm)	ancho (mm)	Long (mm)	ancho (mm)
M1	19.36	0.17	28.00	0.24
M2	20.13	0.15	15.90	0.15
M3	14.20	0.07	16.22	0.07
M4	12.00	0.10	14.91	0.11
M5	16.14	0.08	18.19	0.16

Fuente: Elaboración Propia

Las fisuras superficiales generadas en los moldes del anillo de contracción se observan con más detalle usando el Microscopio AMCap (Figura N°7.13).



Figura N° 7.13. Fisura superficial del concreto con fibra ultrafina 300 g/m³, captada con el microscopio AMCap

Fuente: Fotografía Propia

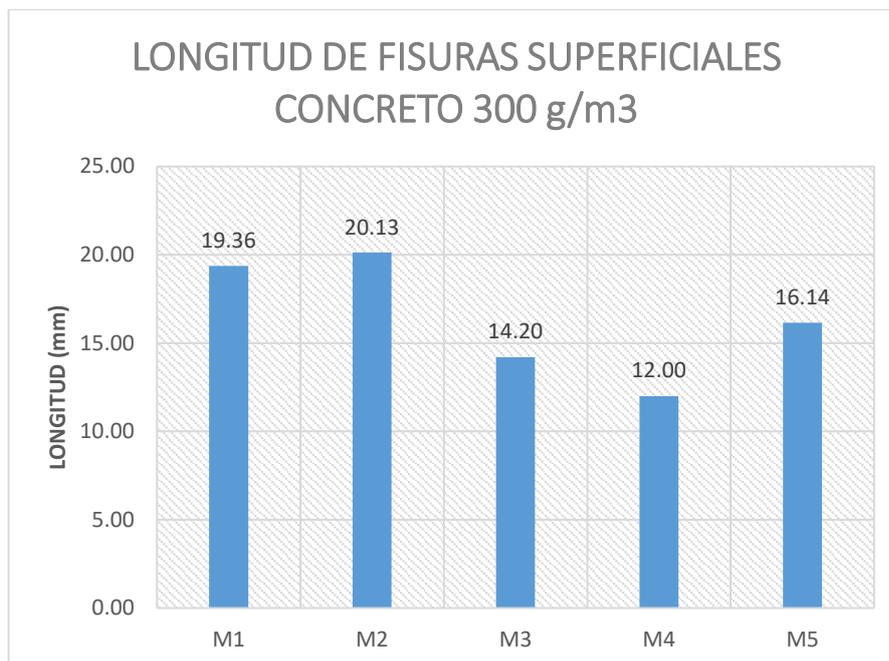
Las fisuras superficiales generadas en los moldes del anillo de contracción se observan con más detalle usando el Microscopio AMCap (Figura N°7.14).



Figura N° 7.14. Fisura lateral del concreto con fibra ultrafina 300 g/m³, captada con el microscopio AMCap

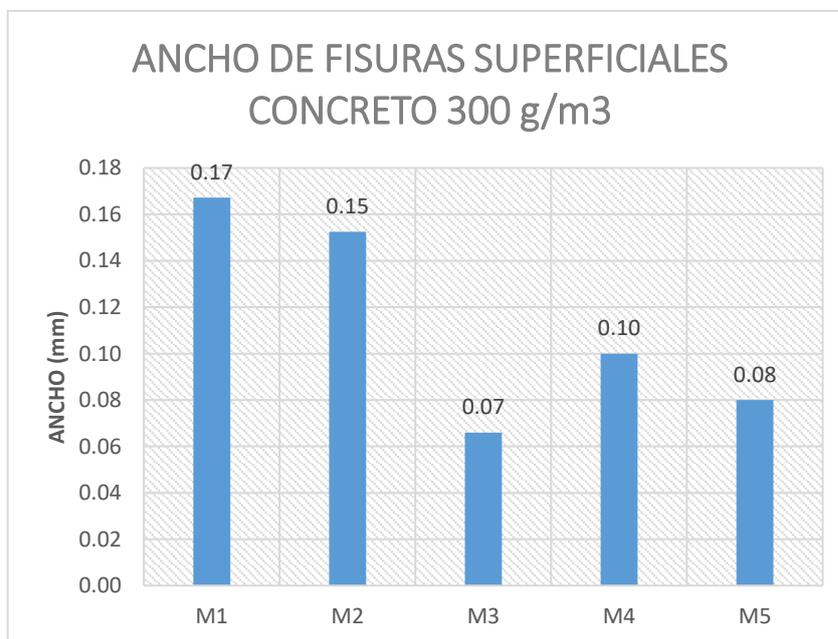
Fuente: Fotografía Propia

Gráfico N° 7.22. Longitud promedio de fisuras superficiales del concreto con fibra ultrafina 300 g/m³



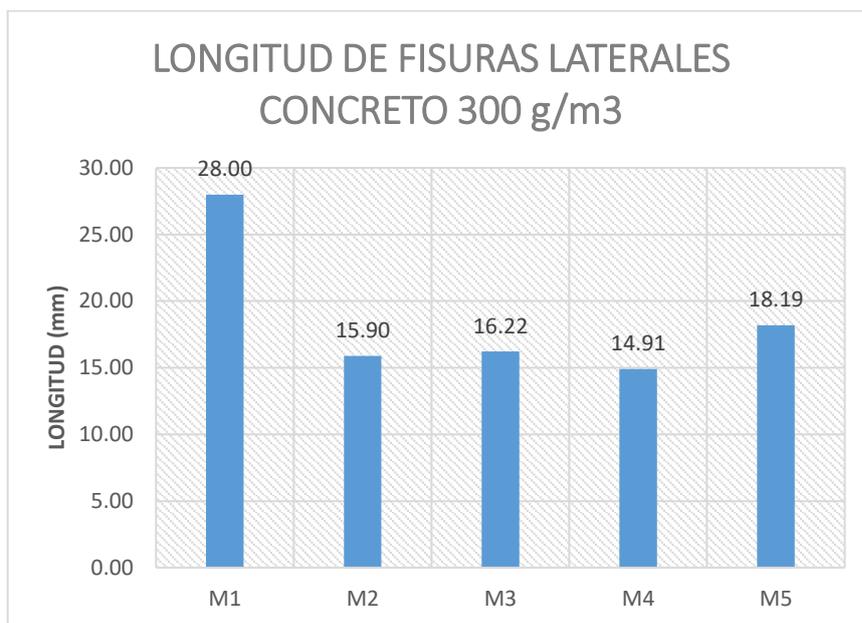
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.23. Ancho promedio de fisuras superficiales del concreto con fibra ultrafina 300 g/m³



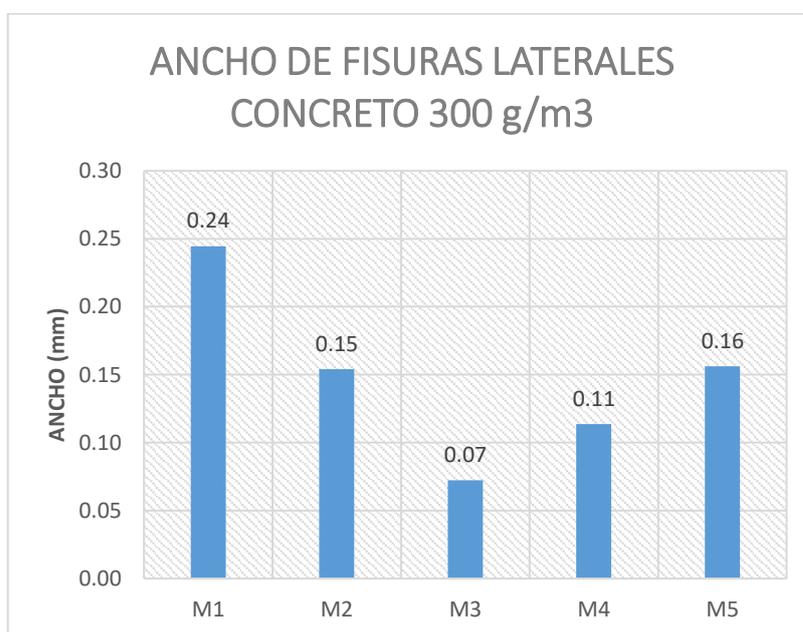
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.24. Longitud promedio de fisuras laterales del concreto con fibra ultrafina 300 g/m³



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.25. Ancho promedio de fisuras laterales del concreto con fibra ultrafina 300 g/m³



Fuente: Elaboración Propia

7.3.1.4. Concreto con fibra ultrafina 400 g/m³

Después de curar la muestra durante siete días se enumeró la cantidad de fisuras generadas en la superficie superior y en la superficie lateral (ver figura N°7.15) por cada muestra ensayada.



Figura N° 7.15. Fisuras superficiales y laterales enumeradas.

Fuente: Fotografía Propia

Se realizó el conteo de las fisuras superficiales y laterales para las cinco muestras de ensayos realizados para el concreto con una concentración de 400 g/m³ de fibra ultrafina, las cantidades por cada muestra se detallan en la Tabla N°7.22.

Tabla N° 7.22. Cantidad de fisuras superficiales y laterales en el concreto con fibra ultrafina 400 g/m³

Muestra	Cantidad de fisuras	
	Superficial	Lateral
M1	2.0	5.0
M2	6.0	4.0
M3	4.0	4.0
M4	3.0	3.0
M5	1.0	1.0

Fuente: Elaboración Propia

Por cuestiones didácticas se muestran las longitudes y anchos promedios de las fisuras superficiales y de las fisuras laterales para cada muestra de concreto (ver Tabla N°7.23), la información más detallada de cada muestra de anillo de concreto se brinda en el anexo de esta investigación.

Tabla N° 7.23. Fisuras superficiales y laterales con longitudes y anchos promedios del concreto con fibra ultrafina 400 g/m³

Muestra	Fisura superficial		Fisura lateral	
	Long (mm)	ancho (mm)	Long (mm)	ancho (mm)
M1	18.50	0.17	23.20	0.17
M2	13.17	0.15	22.50	0.13
M3	19.50	0.12	18.75	0.09
M4	15.00	0.07	22.00	0.08
M5	9.00	0.03	15.00	0.05

Fuente: Elaboración Propia

Las fisuras superficiales generadas en los moldes del anillo de contracción se observan con más detalle usando el Microscopio AMCap (Figura N°7.16).



Figura N° 7.16. Fisura superficial del concreto con fibra ultrafina 400 g/m³, captada con el microscopio AMCap

Fuente: Fotografía Propia

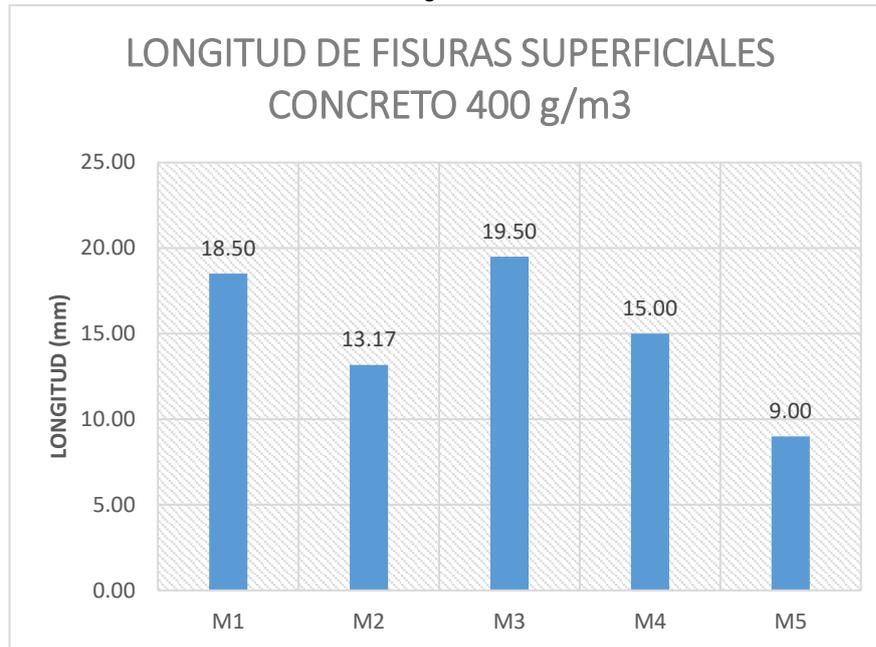
Las fisuras superficiales generadas en los moldes del anillo de contracción se observan con más detalle usando el Microscopio AMCap (Figura N°7.17).



Figura N° 7.17. Fisura lateral del concreto con fibra ultrafina 400 g/m³, captada con el microscopio AMCap

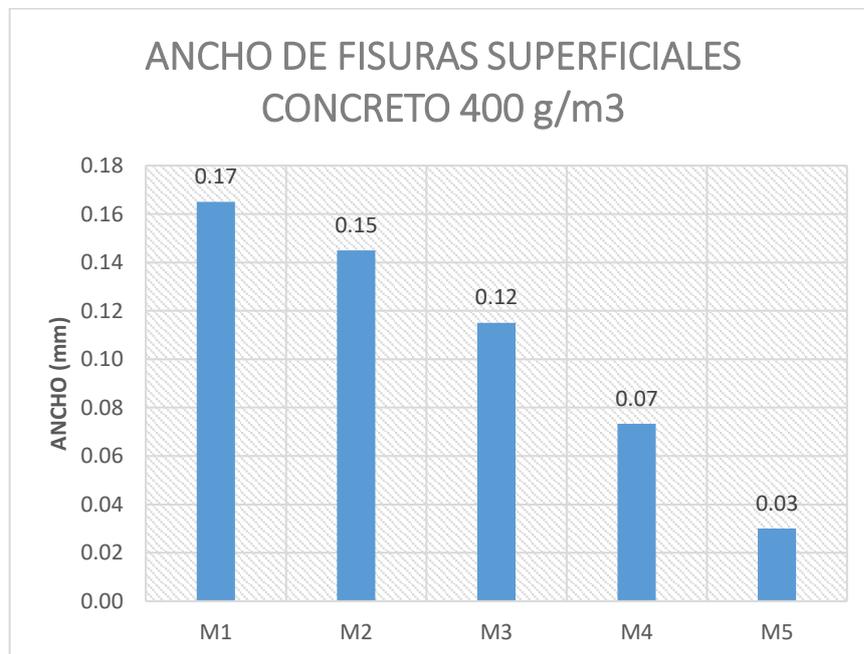
Fuente: Fotografía Propia

Gráfico N° 7.26. Longitud promedio de fisuras superficiales del concreto con fibra ultrafina 400 g/m³



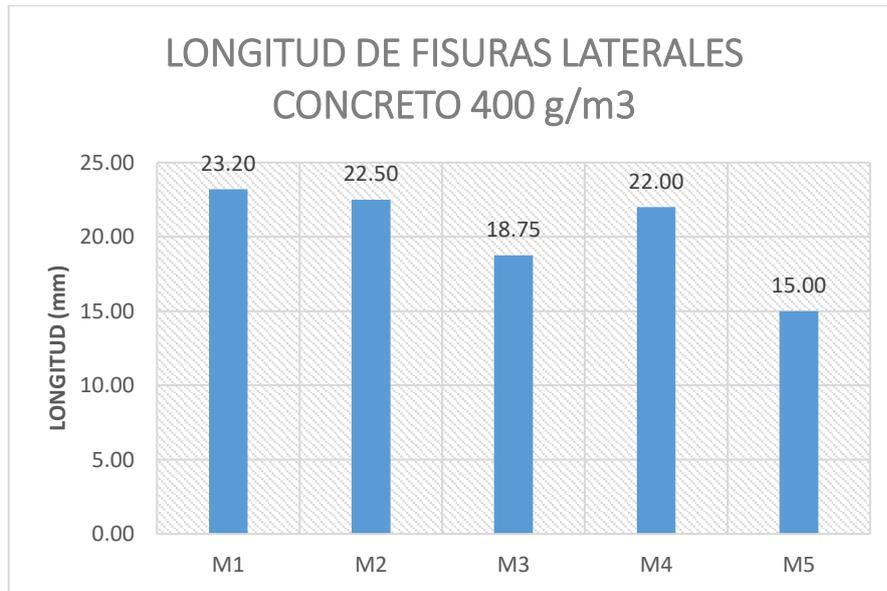
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.27. Ancho promedio de fisuras superficiales del concreto con fibra ultrafina 400 g/m³



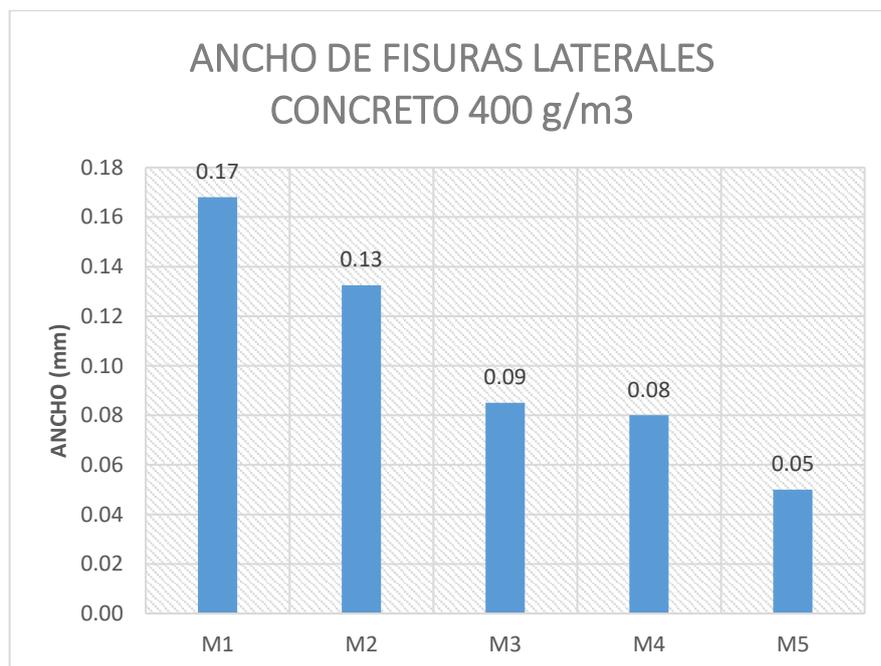
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.28. Longitud promedio de fisuras laterales del concreto con fibra ultrafina 400 g/m³



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.29. Ancho promedio de fisuras laterales del concreto con fibra ultrafina 400 g/m³



Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO VIII. ANÁLISIS Y RESULTADOS

8.1. AGREGADOS

8.1.1. Agregado fino.

El agregado fino usado pertenece a la cantera Huaycán, se realizaron los ensayos respectivos para encontrar las propiedades físicas que son necesarias para el diseño de mezclas. En el ensayo de granulometría se obtuvo una curva que se sitúa dentro de los límites del huso granulométrico (huso C) indicados en la norma NTP 400.037 y su módulo de finura es 3.25.

8.1.2. Agregado grueso

El agregado grueso utilizado pertenece a la cantera Santa Clara, se realizaron los ensayos respectivos para encontrar las propiedades físicas que son necesarias para el diseño de mezclas. En el ensayo de granulometría se obtuvo una curva que se sitúa dentro de los límites del huso 5 (1" – 1/2") indicados en la norma NTP 400.037 y su tamaño máximo nominal es de 1".

8.2. CONCRETO EN ESTADO FRESCO

8.2.1. Asentamiento

Los asentamientos de los diseños de mezcla en la presente tesis se encuentran en el rango 3.5" a 4.5" para mantener una consistencia adecuada. Al usar microfibras de polipropileno se observan las pequeñas variaciones en el asentamiento manteniendo constante la cantidad de agua de diseño del concreto patrón para las muestras con microfibras. Aun con las adiciones de microfibras el asentamiento se mantuvo en el rango propuesto.

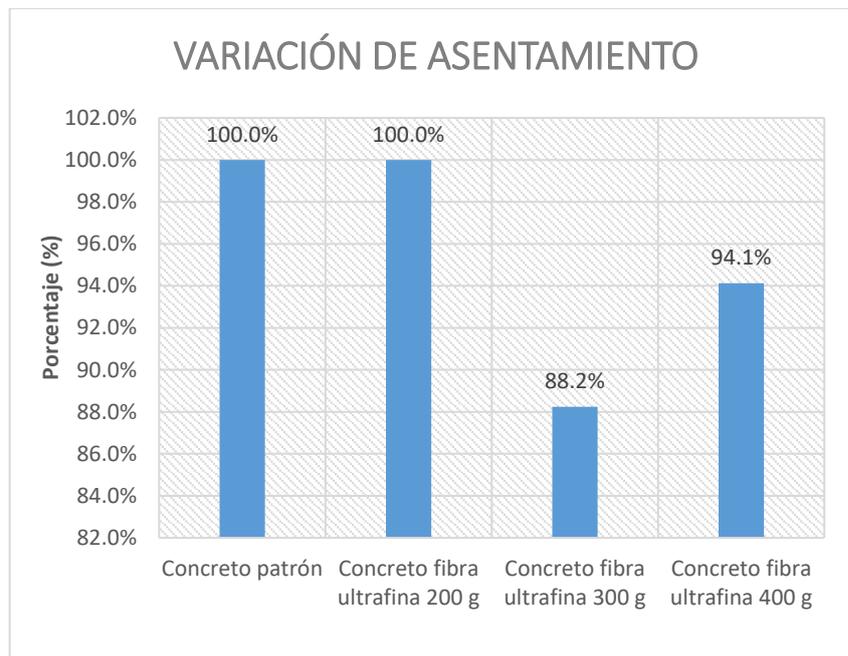
Partiendo como base del asentamiento del concreto patrón (100%), se observa que el asentamiento del concreto con 200 g de fibra por 1 m³ de concreto con respecto al concreto patrón es de 100%, asentamiento del concreto con 300 g de fibra ultrafina por 1 m³ de concreto con respecto al concreto patrón es de 88.2% y el asentamiento del concreto con 400 g de fibra ultrafina por 1 m³ de concreto es de 94.1 %. Se puede observar según el gráfico N°8.1 que no hay una tendencia clara entre la concentración de la fibra ultrafina y el asentamiento.

Tabla N° 8.1. Variación porcentual de los asentamientos respecto al concreto patrón.

Tipo de concreto	Asentamiento (pulgadas)	Variación respecto al patrón (%)
Concreto patrón	4.25	100.0%
Concreto fibra ultrafina 200 g	4.25	100.0%
Concreto fibra ultrafina 300 g	3.75	88.2%
Concreto fibra ultrafina 400 g	4.00	94.1%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.1. Variaciones de los asentamientos respecto del concreto patrón



Fuente: Elaboración Propia

8.2.2. Peso unitario

Los pesos unitarios obtenidos están en el rango de concretos normales (1700 kg/m³ – 2500 kg/m³) como se puede observar en la Tabla N°8.2, los valores mostrados en la tabla para cada tipo de concreto se obtuvieron como un promedio de tres ensayos repetitivos. Se puede notar que el peso unitario del concreto con 200 g/m³ de fibra ultrafina representa el 99.4 % del peso unitario del concreto patrón, el peso unitario del concreto con 300 g/m³ de fibra ultrafina representa el 98.9% del peso unitario del concreto patrón y el concreto con 400 g/m³ de fibra ultrafina representa solo el 98.8% del peso unitario del concreto patrón. Podemos asumir que el valor del peso unitario disminuye a medida que aumenta la

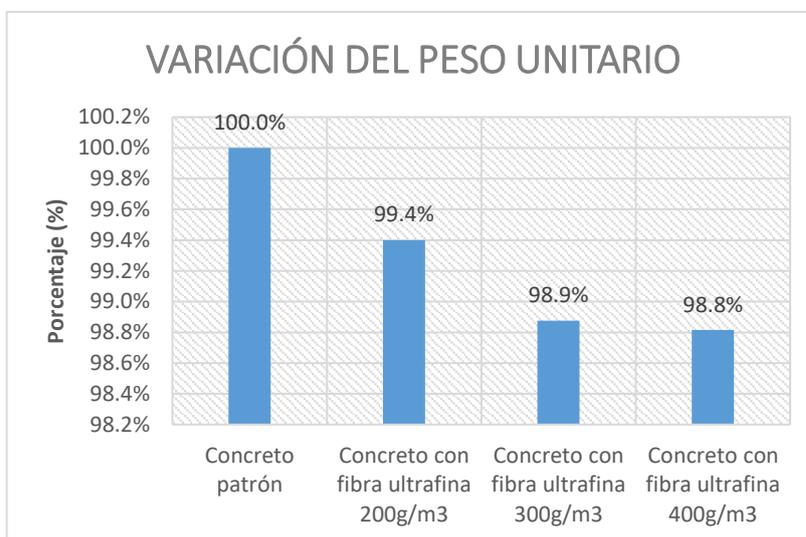
concentración de la fibra ultrafina, para una relación de $a/c=0.60$ y para los agregados con propiedades físicas que fueron usadas en esta investigación.

Tabla N° 8.2. Variación porcentual de los pesos unitarios respecto al concreto patrón

Tipo de concreto	Peso unitario (kg/m ³)	Variación con respecto al patrón (%)
Concreto patrón	2294.75	100.0%
Concreto con fibra ultrafina 200g/m ³	2280.97	99.4%
Concreto con fibra ultrafina 300g/m ³	2268.97	98.9%
Concreto con fibra ultrafina 400g/m ³	2267.55	98.8%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.2. Variación porcentual de los pesos unitarios respecto al concreto patrón



Fuente: Elaboración Propia

8.2.3. Fluidez

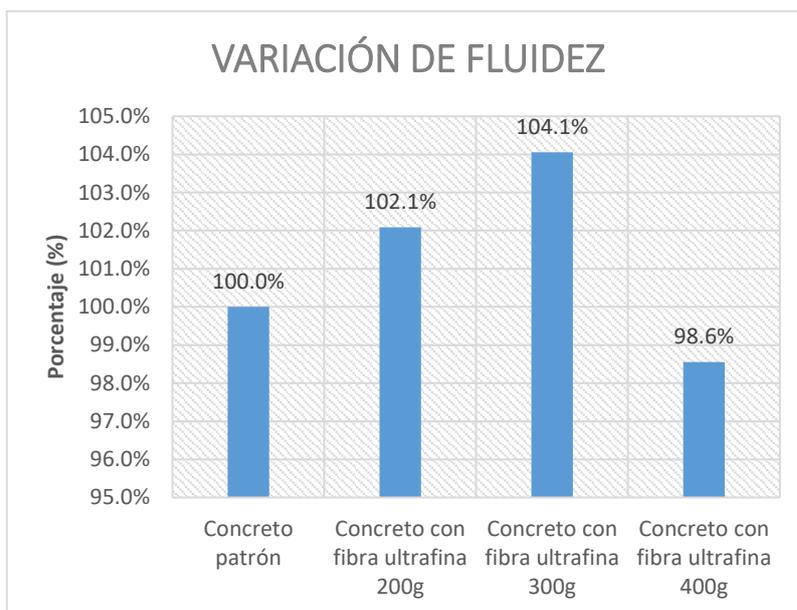
Los resultados obtenidos en el laboratorio se muestran en la Tabla N°8.3, donde se puede observar el valor promedio del ensayo repetido tres veces para cada tipo de concreto. Escogiendo como valor referencial la fluidez del concreto patrón, podemos ver que la fluidez del concreto con 200 g/m³ de fibra ultrafina representa el 102.1% de la fluidez del concreto patrón, la fluidez del concreto con 300 g/m³ de fibra ultrafina representa el 104.1% de la fluidez del concreto patrón y la fluidez del concreto con 400 g/m³ representa el 98.6% de la fluidez del concreto patrón. Con los valores obtenidos se puede afirmar que no existe una relación de dependencia directa o indirecta entre la fluidez de la mezcla y la concentración de la fibra ultrafina.

Tabla N° 8.3. Variación porcentual de la fluidez respecto al concreto patrón

Tipo de concreto	% Fluidez	Variación con respecto al patrón
Concreto patrón	57.5%	100.0%
Concreto con fibra ultrafina 200g	58.7%	102.1%
Concreto con fibra ultrafina 300g	59.8%	104.1%
Concreto con fibra ultrafina 400g	56.7%	98.6%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.3. Variación porcentual de la fluidez respecto al concreto patrón



Fuente: Elaboración Propia

8.2.4. Contenido de aire

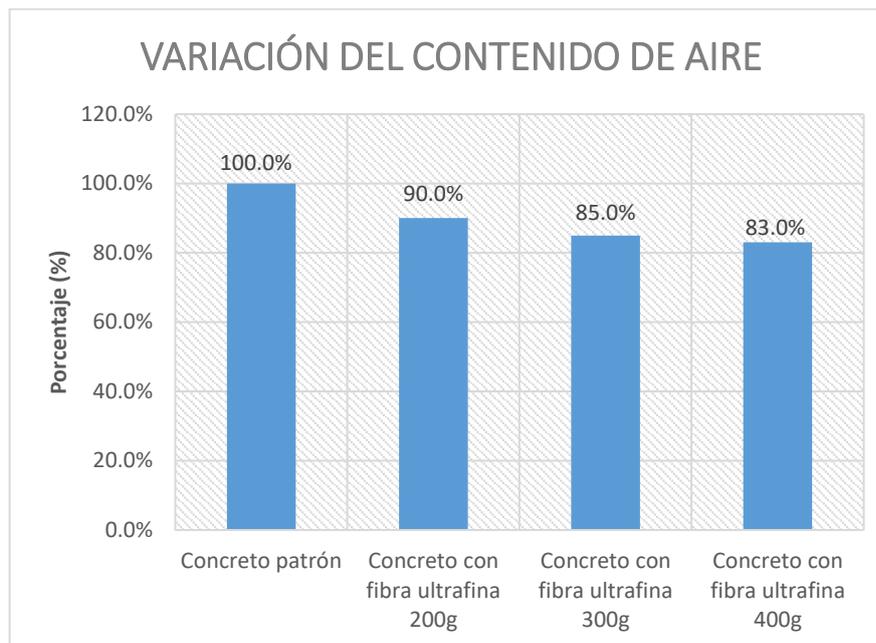
Los resultados del ensayo del contenido de aire se muestran en la Tabla N°8.4 para los diferentes tipos de concreto. Según los resultados de la Tabla N°8.4 se observa que el contenido de aire para el concreto con 200 g/m³ de fibra ultrafina representa el 90% del contenido de aire del concreto patrón, el contenido de aire del concreto con 300 g/m³ de fibra ultrafina representa el 85% del contenido de aire del concreto patrón y el contenido de aire del concreto con 400 g/m³ de fibra ultrafina representa el 83% del contenido de aire del concreto patrón. Se puede afirmar que el contenido de aire disminuye a medida que aumenta la concentración de la fibra ultrafina para una relación a/c=0.60 y para agregados con propiedades físicas detalladas en esta investigación.

Tabla N° 8.4. Variación porcentual del contenido del aire respecto al concreto patrón

Tipo de concreto	Porcentaje de aire	Variación con respecto al patrón
Concreto patrón	1.00%	100.0%
Concreto con fibra ultrafina 200g	0.90%	90.0%
Concreto con fibra ultrafina 300g	0.85%	85.0%
Concreto con fibra ultrafina 400g	0.83%	83.0%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.4. Variación porcentual del contenido del aire respecto al concreto patrón



Fuente: Elaboración Propia

8.2.5. Exudación

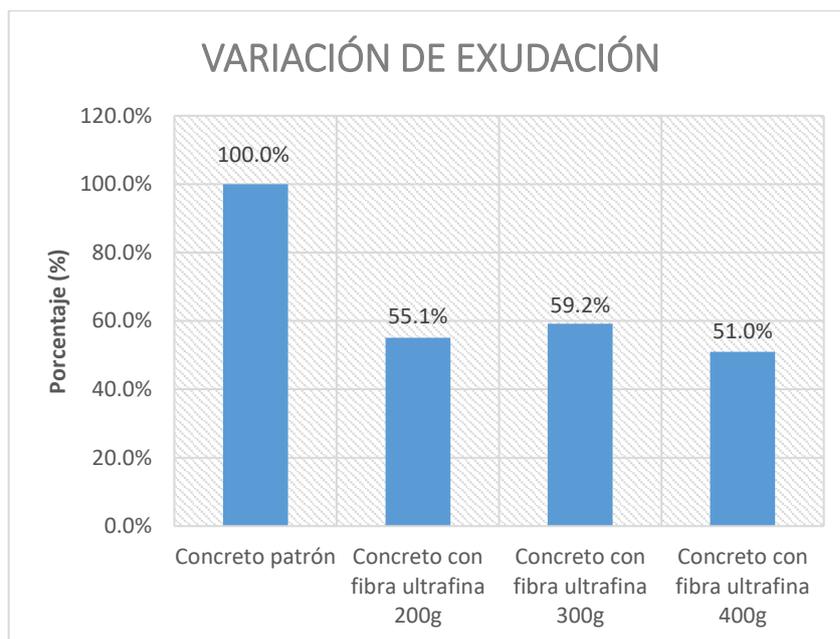
Los resultados del ensayo de exudación se muestran en la Tabla N°8.5. Comparando los valores de exudación para los concretos con fibra ultrafina con respecto al concreto patrón se puede observar, la exudación del concreto con 200 g/m³ de fibra ultrafina representa el 55.1% de la exudación del concreto patrón, la exudación del concreto con 300 g/m³ de fibra ultrafina representa el 59.2% de la exudación del concreto patrón y la exudación del concreto con 400 g/m³ de fibra ultrafina representa el 51% de la exudación del concreto patrón. Con los valores obtenidos se puede afirmar que no existe una relación de dependencia directa o indirecta entre la exudación de la mezcla y la concentración de la fibra ultrafina.

Tabla N° 8.5. Variación porcentual de la exudación con respecto al concreto patrón

Tipo de concreto	Exudación (%)	Variación con respecto al patrón (%)
Concreto patrón	0.767%	100.0%
Concreto con fibra ultrafina 200g	0.422%	55.1%
Concreto con fibra ultrafina 300g	0.454%	59.2%
Concreto con fibra ultrafina 400g	0.391%	51.0%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.5. Variación porcentual de la exudación con respecto al concreto patrón



Fuente: Elaboración Propia

8.2.6. Tiempo de fragua

Los resultados obtenidos en el laboratorio para el tiempo de fraguado inicial se muestran en la Tabla N°8.6 donde se puede analizar las variaciones comparando con respecto el valor del tiempo de fraguado inicial del concreto patrón, así podemos afirmar. El tiempo de fraguado inicial del concreto con 200 g/m³ de fibra ultrafina representa el 81% del tiempo de fraguado inicial del concreto patrón, el tiempo de fraguado inicial del concreto con 300g/m³ de fibra ultrafina representa el 106.3% del tiempo de fraguado inicial del concreto patrón y finalmente el tiempo de fraguado del tiempo de fraguado inicial del concreto con 400g/m³ representa el 73.5% del tiempo de fraguado inicial del concreto patrón. Acorde con los resultados obtenidos se puede afirmar que no existe una relación de dependencia

directa o indirecta entre el tiempo de fragua inicial de la mezcla y la concentración de la fibra ultrafina.

En cuanto al tiempo de fraguado final de las mezclas (Tabla N°8.7) se puede observar que el tiempo de fraguado final del concreto con 200g/m³ de fibra ultrafina representa el 98.9% del tiempo de fraguado final del concreto patrón, el tiempo de fraguado final del concreto con 300g/m³ de fibra ultrafina representa el 113.4% del tiempo de fraguado final del concreto patrón y el tiempo de fraguado final del concreto con 400g/m³ representa el 79.7% del tiempo de fraguado final del concreto patrón. Con los valores obtenidos se puede afirmar que no existe una relación de dependencia directa o indirecta entre la exudación de la mezcla y la concentración de la fibra ultrafina.

Tabla N° 8.6. Variación porcentual del tiempo de fragua inicial con respecto al concreto patrón

Tipo de concreto	Tiempo de fraguado inicial (h:min)	Variación con respecto al patrón (%)
Concreto patrón	3:09	100.0%
Concreto con fibra ultrafina 200g	2:33	81.0%
Concreto con fibra ultrafina 300g	3:21	106.3%
Concreto con fibra ultrafina 400g	2:19	73.5%

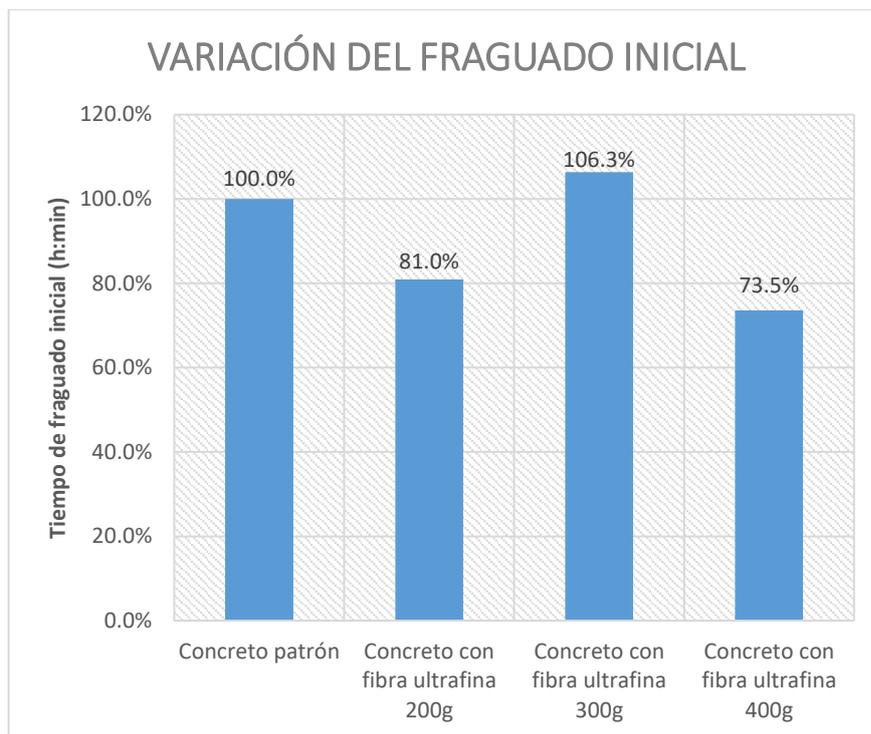
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 8.7. Variación porcentual del tiempo de fragua final con respecto al concreto patrón

Tipo de concreto	Tiempo de fraguado final (h:min)	Variación con respecto al patrón (%)
Concreto patrón	4:21	100.0%
Concreto con fibra ultrafina 200g	4:18	98.9%
Concreto con fibra ultrafina 300g	4:56	113.4%
Concreto con fibra ultrafina 400g	3:28	79.7%

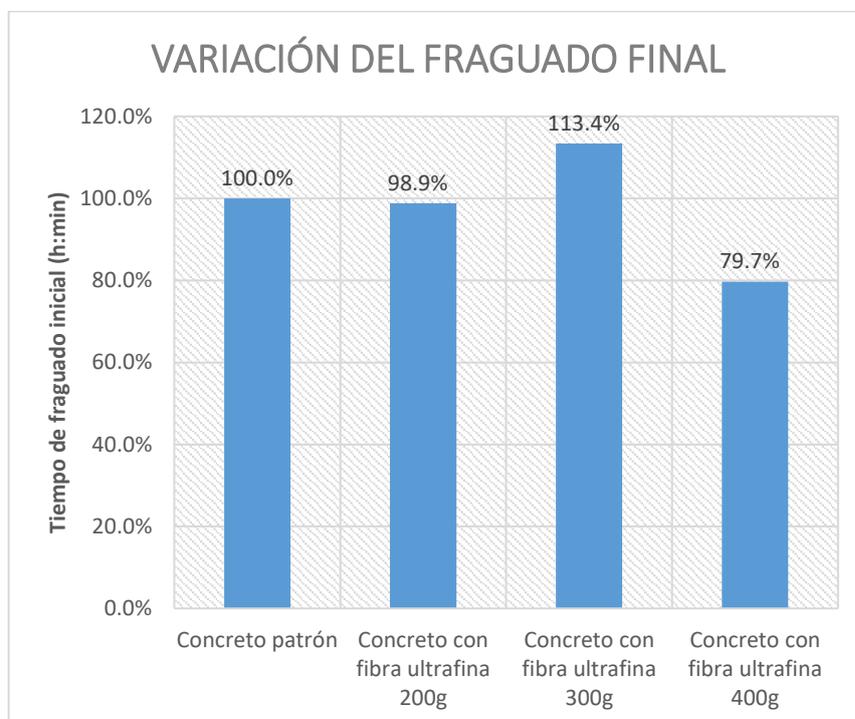
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.6. Variación porcentual del tiempo de fragua inicial con respecto al concreto patrón



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.7. Variación porcentual del tiempo de fragua final con respecto al concreto patrón



Fuente: Elaboración Propia

8.3. CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

8.3.1. Resistencia a la compresión

Los resultados del ensayo de la resistencia a la compresión a los 7 días se muestran en la Tabla N°8.8, se observa que la resistencia a la compresión del concreto con 200g/m³ de fibra ultrafina es el 112.7% de la resistencia a la compresión del concreto patrón, la resistencia a la compresión del concreto con 300 g/m³ de fibra ultrafina es el 116.6% de la resistencia a la compresión del concreto patrón y la resistencia a la compresión del concreto con 400 g/m³ de fibra ultrafina es el 114.7% de la resistencia a la compresión del concreto patrón. Acorde con los resultados obtenidos se puede afirmar que no existe una relación de dependencia directa o indirecta entre la resistencia a la compresión del concreto y la concentración de la fibra ultrafina, pero hay una tendencia de aumento de la resistencia a la compresión al usar las fibras de polipropileno.

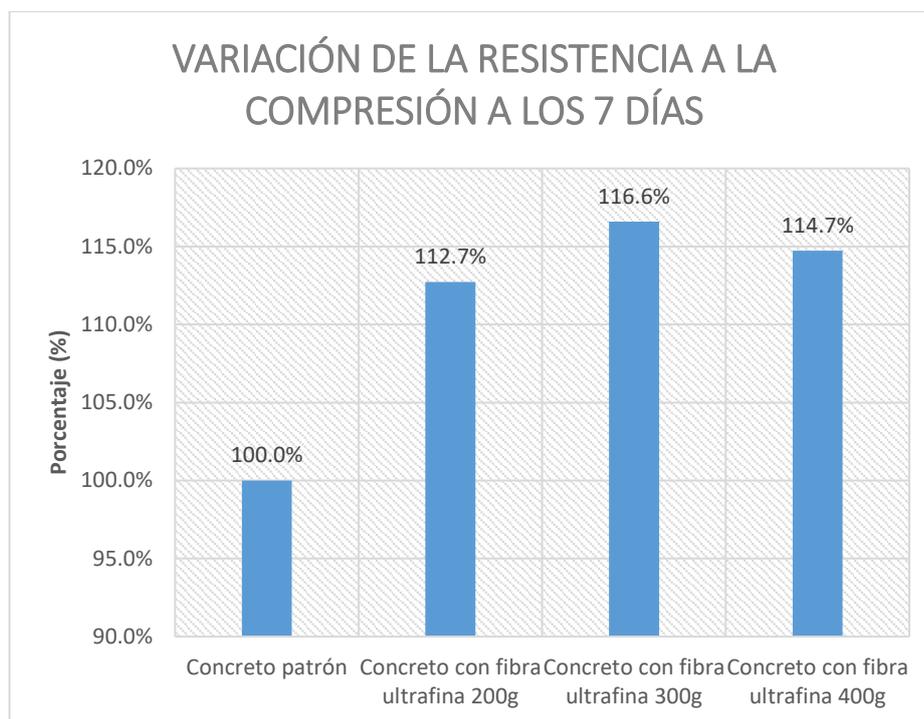
Los ensayos de la resistencia a la compresión a los 28 días de los concretos con y sin fibras se muestran en la Tabla N°8.9, se puede afirmar que la resistencia a la compresión del concreto con 200 g/m³ de fibra ultrafina representa el 112.7% de la resistencia a la compresión del concreto patrón, la resistencia a la compresión del concreto con 300 g/m³ de fibra ultrafina representa el 116.6% de la resistencia a la compresión del concreto patrón y la resistencia a la compresión del concreto con 400 g/m³ de fibra ultrafina representa el 114.7% de la resistencia a la compresión del concreto patrón. Con los valores obtenidos se puede afirmar que no existe una relación de dependencia directa o indirecta entre la resistencia a la compresión del concreto y la concentración de la fibra ultrafina, pero hay una tendencia de aumento de la resistencia a la compresión al usar las fibras de polipropileno.

Tabla N° 8.8. Variación porcentual de la resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón a los 7 días

Tipo de concreto	Resistencia a la compresión (Kg/cm²)	Variación con respecto al patrón (%)
Concreto patrón	216.41	100.0%
Concreto con fibra ultrafina 200g	243.96	112.7%
Concreto con fibra ultrafina 300g	252.29	116.6%
Concreto con fibra ultrafina 400g	248.28	114.7%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.8. Variación porcentual de la resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón a los 7 días



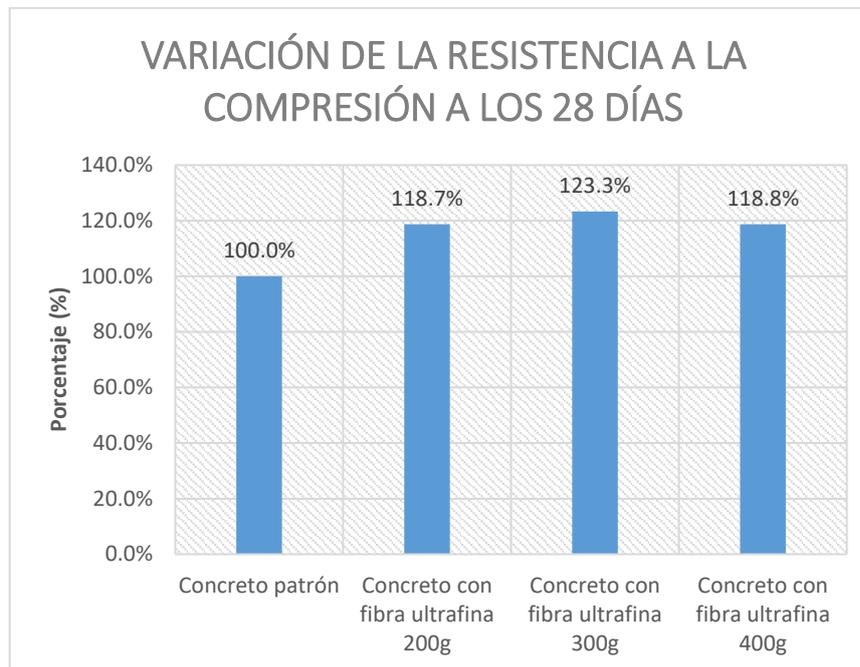
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 8.9. Variación porcentual de la resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón a los 28 días

Tipo de concreto	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	Variación con respecto al patrón (%)
Concreto patrón	266.81	100.0%
Concreto con fibra ultrafina 200g	316.71	118.7%
Concreto con fibra ultrafina 300g	329.06	123.3%
Concreto con fibra ultrafina 400g	316.83	118.8%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.9. Variación porcentual de la resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón a los 28 días



Fuente: Elaboración Propia

8.3.2. Resistencia a la tracción por compresión diametral

Los resultados del ensayo de la resistencia a la tracción por compresión diametral a los 7 días se muestran en la Tabla N°8.10, la resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto con 200 g/m³ fibra ultrafina representa el 90% de la resistencia a la tracción del concreto patrón, en el concreto con 300 g/m³ de fibra ultrafina representa el 74.1% de la resistencia a la tracción del concreto patrón y en el concreto con 400 g/m³ de fibra ultrafina representa el 107.8% de la resistencia a la tracción del concreto patrón. Acorde con los resultados obtenidos se puede afirmar que no existe una relación de dependencia directa o indirecta entre la resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto y la concentración de la fibra ultrafina.

Los ensayos de la resistencia a la tracción por compresión diametral a los 28 días se muestra en la Tabla N°8.11, la resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto con 200 g/m³ fibra ultrafina representa el 117% de la resistencia a la tracción del concreto patrón, en el concreto con 300 g/m³ de fibra ultrafina representa el 90.1% de la resistencia a la tracción del concreto patrón y en el concreto con 400 g/m³ de fibra ultrafina representa el 106% de la resistencia

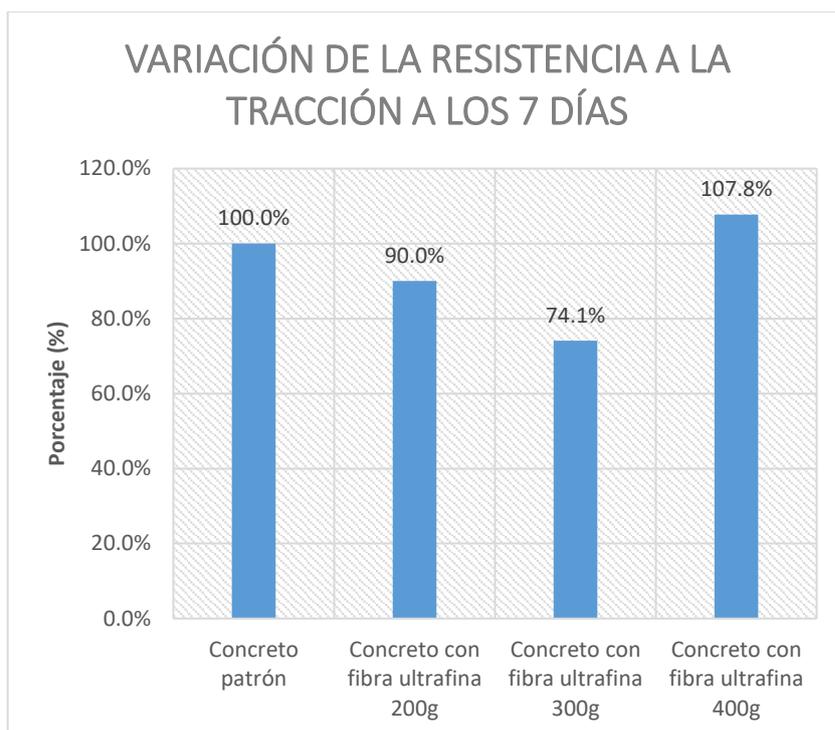
a la tracción del concreto patrón. Según los resultados obtenidos se puede afirmar que no existe una relación de dependencia directa o indirecta entre la resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto y la concentración de la fibra ultrafina.

Tabla N° 8.10. Variación porcentual de la resistencia a la tracción por compresión diametral con respecto al concreto patrón a los 7 días

Tipo de concreto	Resistencia a la tracción (Kg/cm ²)	Variación con respecto al patrón (%)
Concreto patrón	22.67	100.0%
Concreto con fibra ultrafina 200g	20.41	90.0%
Concreto con fibra ultrafina 300g	16.80	74.1%
Concreto con fibra ultrafina 400g	24.43	107.8%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.10. Variación porcentual de la resistencia a la tracción por compresión diametral con respecto al concreto patrón a los 7 días



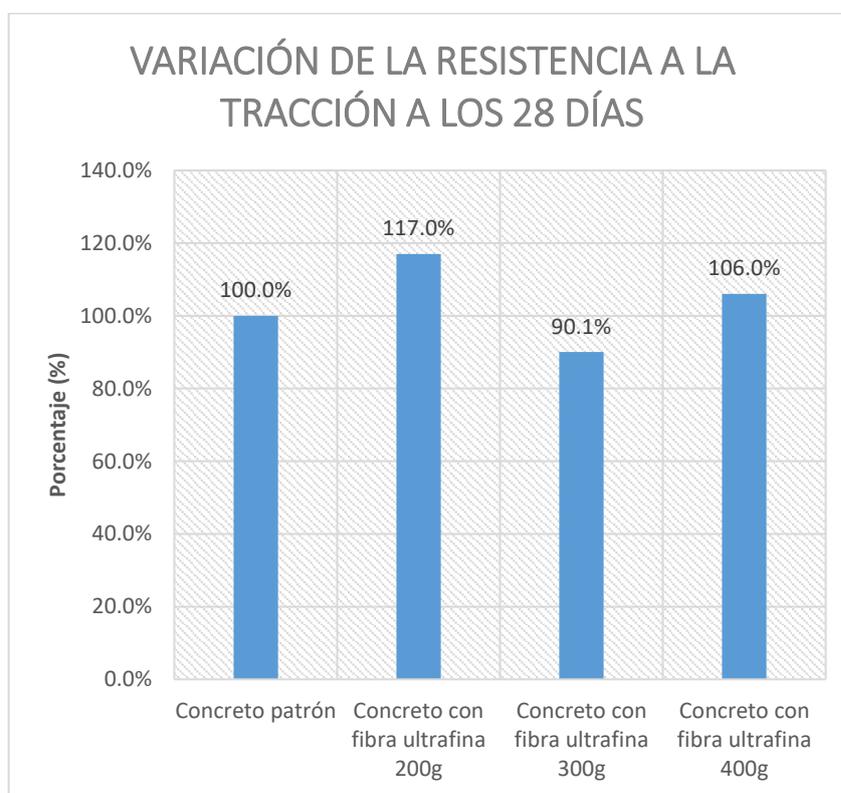
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 8.11. Variación porcentual de la resistencia a la tracción por compresión diametral con respecto al concreto patrón a los 28 días

Tipo de concreto	Resistencia a la tracción (Kg/cm ²)	Variación con respecto al patrón (%)
Concreto patrón	26.17	100.0%
Concreto con fibra ultrafina 200g	30.63	117.0%
Concreto con fibra ultrafina 300g	23.57	90.1%
Concreto con fibra ultrafina 400g	27.75	106.0%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.11. Variación porcentual de la resistencia a la tracción por compresión diametral con respecto al concreto patrón a los 28 días



Fuente: Elaboración Propia

8.3.3. Módulo elástico estático

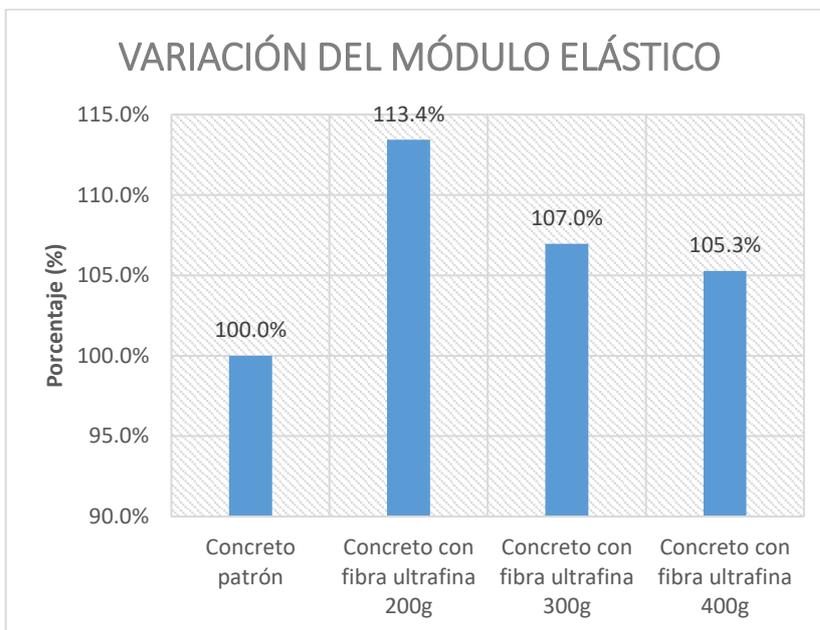
Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla N°8.12, el módulo elástico del concreto con 200 g/m³ de fibra ultrafina representa el 113.4% del módulo elástico del concreto patrón, el módulo elástico del concreto con 300 g/m³ de fibra ultrafina representa el 107% del módulo de elasticidad del concreto y el módulo elástico del concreto con 400 g/m³ representa el 105.3% del módulo de elasticidad del concreto patrón. Según los resultados obtenidos se puede afirmar que no existe una relación de dependencia directa o indirecta entre el módulo elástico del concreto y la concentración de la fibra ultrafina.

Tabla N° 8.12. Variación porcentual del módulo de elasticidad con respecto al concreto patrón

Tipo de concreto	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	Porcentaje de variación (%)
Concreto patrón	287954.55	100.0%
Concreto con fibra ultrafina 200g	326607.33	113.4%
Concreto con fibra ultrafina 300g	307993.41	107.0%
Concreto con fibra ultrafina 400g	303161.20	105.3%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.12. Variación porcentual del módulo de elasticidad con respecto al concreto patrón



Fuente: Elaboración Propia

8.4. ENSAYO DE LA CONTRACCIÓN RESTRINGIDA EN EL CONCRETO

8.4.1. Contracción restringida en el concreto

8.4.1.1. Concreto patrón

Se hizo cinco ensayos de contracción restringida en dos días diferentes, registrando su temperatura promedio. Las fisuras generadas superficial y lateral en la muestra (Figura N°8.1) de concreto se miden con un fisurómetro (Figura N°8.2).



Figura N° 8.1. Fisuras superficiales y laterales en la muestra del concreto patrón en el anillo de contracción.

Fuente: Fotografía Propia



Figura N° 8.2. Fisurométros usados para medir longitud y ancho de fisuras

Fuente: Fotografía Propia

La medición de las fisuras superficiales y laterales se muestran en la Tabla N°7.17 y la cantidad de fisuras superficiales y laterales se observa en la Tabla N°8.13. Las muestras M1, M2 y M3 se ensayaron en un mismo día donde la temperatura promedio era de 22°C y las muestras M4 y M5 se ensayó en otro día con una temperatura promedio de 25°C, la cantidad de fisuras superficiales y laterales aumentan con el incremento de la temperatura del ambiente.

Tabla N° 8.13. Cantidad de fisuras en la muestra del concreto patrón

Muestra	Cantidad de fisuras		Temperatura promedio (°C)
	Superficial	Lateral	
M1	7.0	5.0	22°C
M2	7.0	7.0	22°C
M3	5.0	3.0	22°C
M4	18.0	24.0	25°C
M5	14.0	25.0	25°C

Fuente: Elaboración Propia

8.4.1.2. Concreto con fibra ultrafina 200 g/m³

Se hizo cinco ensayos de contracción restringida en dos días diferentes, registrando su temperatura promedio. Las fisuras generadas superficial y lateral de la muestra de concreto se miden con un fisurómetro.

La medición de las fisuras superficiales y laterales se muestran en la Tabla N°7.19 y la cantidad de fisuras superficiales y laterales se observa en la Tabla N°8.14. Las muestras M1, M2 y M3 se ensayaron en un mismo día donde la temperatura promedio era de 23.5°C y las muestras M4 y M5 se ensayó en otro día con una temperatura promedio de 27.5°C, la cantidad de fisuras superficiales y laterales aumentan con el incremento de la temperatura del ambiente, pero según la Tabla N°7.19 las longitudes y anchos de las fisuras superficiales y laterales disminuyen, debido al preparado de muestras en dos grupos. En el primer grupo de muestras (M1, M2 y M3) las fibras fueron agregadas a la mezcla de concreto fresco en la mezcladora para luego ser homogenizadas por proceso de mezclado por un periodo de tiempo adicional y para el segundo grupo de muestras (M4 y M5) las fibras se mezclaron primero con los agregados y con un poco de agua para luego agregar cemento.

Tabla N° 8.14. Cantidad de fisuras en la muestra del concreto con fibra ultrafina 200g/m³

Muestra	Cantidad de fisuras		Temperatura promedio (°C)
	Superficial	Lateral	
M1	4.0	5.0	23.5°C
M2	7.0	9.0	23.5°C
M3	6.0	8.0	23.5°C
M4	9.0	13.0	27.5°C
M5	12.0	10.0	27.5°C

Fuente: Elaboración Propia

8.4.1.3. Concreto con fibra ultrafina 300 g/m³

Se hizo cinco ensayos de contracción restringida en dos días diferentes, registrando su temperatura promedio. Las fisuras generadas superficial y lateral de la muestra de concreto se miden con un fisurómetro.

La medición de las fisuras superficiales y laterales se muestran en la Tabla N°7.21 y la cantidad de fisuras superficiales y laterales se observa en la Tabla N°8.15. Las muestras M1, M2 y M3 se ensayaron en un mismo día donde la temperatura promedio era de 25°C y las muestras M4 y M5 se ensayó en otro día con una

temperatura promedio de 27°C, la cantidad de fisuras laterales aumentan con el incremento de la temperatura del ambiente, pero la cantidad de fisuras superficiales no aumenta con el incremento de temperatura en 2°C, aunque las longitudes y anchos de fisuras varían. En el primer grupo de muestras (M1, M2 y M3) las fibras fueron agregadas a la mezcla de concreto fresco en la mezcladora para luego ser homogenizadas por proceso de mezclado por un periodo de tiempo adicional y para el segundo grupo de muestras (M4 y M5) las fibras se mezclaron primero con los agregados y con un poco de agua para luego agregar cemento.

Aun aumentando la cantidad de fisuras laterales y superficiales de las muestras del segundo grupo (M4 y M5) por el aumento de la temperatura, las longitudes y los anchos de las mismas se reducen debido al mezclado óptimo de la fibra (ver Tabla N°7.21).

Tabla N° 8.15. Cantidad de fisuras en la muestra del concreto con fibra ultrafina 300g/m³

Muestra	Cantidad de fisuras		Temperatura promedio (°C)
	Superficial	Lateral	
M1	11.0	9.0	25°C
M2	8.0	10.0	25°C
M3	5.0	9.0	25°C
M4	6.0	11.0	27°C
M5	7.0	21.0	27°C

Fuente: Elaboración Propia

8.4.1.4. Concreto con fibra ultrafina 400 g/m³

Se hizo cinco ensayos de contracción restringida en dos días diferentes, registrando su temperatura promedio. Las fisuras generadas superficial y lateral de la muestra de concreto se miden con un fisurómetro.

La medición de las fisuras superficiales y laterales se muestran en la Tabla N°7.23 y la cantidad de fisuras superficiales y laterales se observa en la Tabla N°8.16. Las muestras M1, M2 y M3 se ensayaron en un mismo día donde la temperatura promedio era de 25°C y las muestras M4 y M5 se ensayó en otro día con una temperatura promedio de 27°C, la cantidad de fisuras superficiales y laterales varían con el aumento de la temperatura. Según la Tabla N°8.16 la cantidad de las fisuras en las muestras M1, M2 y M3 son mayores a la cantidad de las fisuras en las muestras M4 y M5; debido a que en el primer grupo de muestras (M1, M2 y M3) las fibras fueron agregadas a la mezcla de concreto fresco en la mezcladora

para luego ser homogenizadas por proceso de mezclado por un periodo de tiempo adicional y para el segundo grupo de muestras (M4 y M5) las fibras se mezclaron primero con los agregados y con un poco de agua para luego agregar el cemento. Según la Tabla N°7.23 se puede observar que las longitudes y anchos de las fisuras superficiales y laterales disminuyen para el segundo grupo de muestras (M4 y M5).

Según la Tabla N°7.23 las longitudes y anchos de las fisuras superficiales y longitudinales disminuyen para las muestras del segundo grupo (M4 y M5), debido al proceso de mezclado de las fibras de polipropileno (fibra ultrafina).

Tabla N° 8.16. Cantidad de fisuras en la muestra del concreto con fibra ultrafina 400g/m³

Muestra	Cantidad de fisuras		Temperatura promedio (°C)
	Superficial	Lateral	
M1	2.0	5.0	25°C
M2	6.0	4.0	25°C
M3	4.0	4.0	25°C
M4	3.0	3.0	27°C
M5	1.0	1.0	27°C

Fuente: Elaboración Propia

8.4.1.5. Análisis comparativo

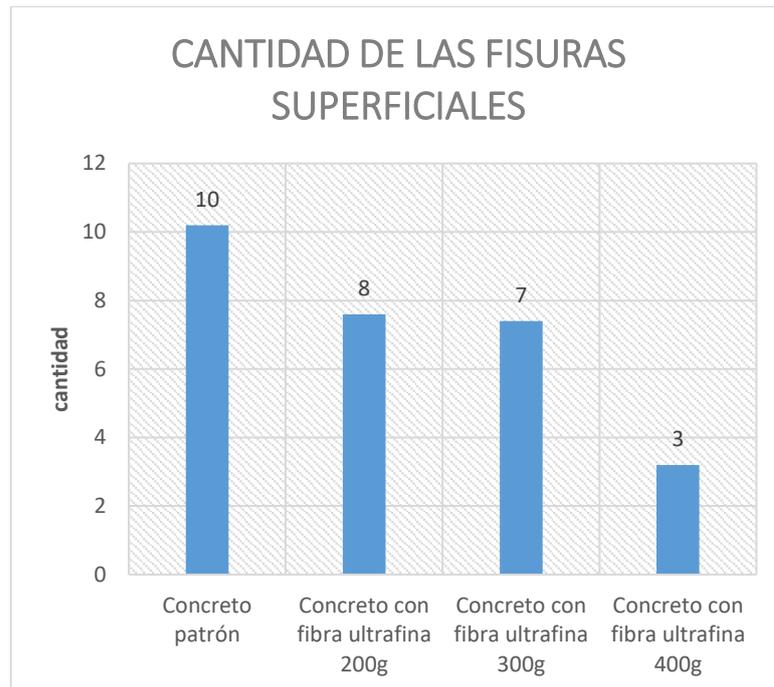
Las fisuras superficiales y laterales de los diferentes tipos de concreto analizados se observa en la Tabla N°8.18, según esta tabla las longitudes de las fisuras superficiales y laterales disminuyen a medida que aumenta la dosis de la fibra ultrafina. En cuanto a las fisuras laterales hay una tendencia de disminuir su longitud a medida que aumenta el contenido de fibras, además se observa que hay una relación inversa entre el espesor de la fisura y el contenido de fibra ultrafina, es decir el ancho de las fisuras se reducen a medida que aumenta el contenido de la fibra ultrafina.

Tabla N° 8.17. Cantidad de fisuras superficiales y laterales

Tipo de concreto	Cantidad de fisuras	
	Superficial	Lateral
Concreto patrón	10	13
Concreto con fibra ultrafina 200g	8	9
Concreto con fibra ultrafina 300g	7	12
Concreto con fibra ultrafina 400g	3	3

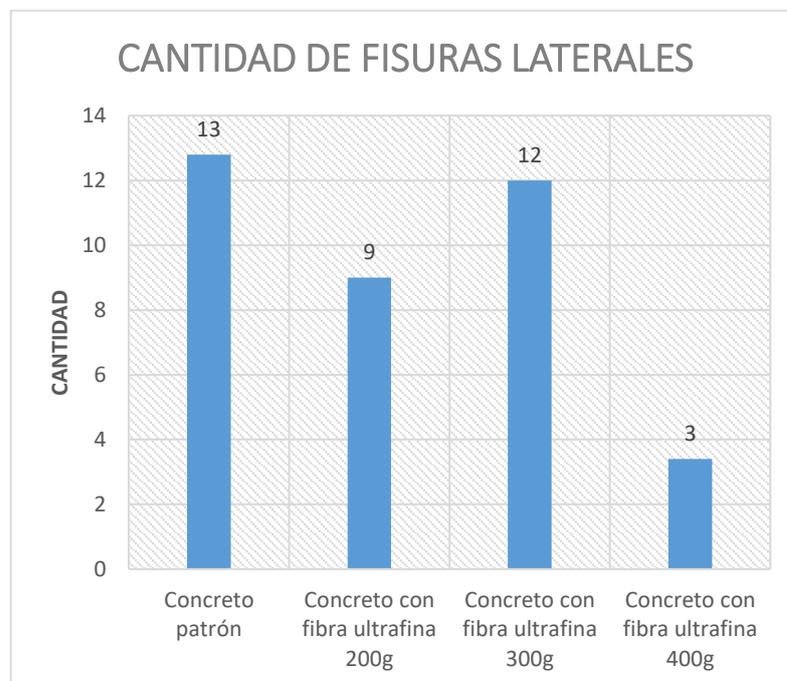
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.13. Cantidad de fisuras superficiales en el concreto patrón y concretos con fibra ultrafina



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.14. Cantidad de fisuras laterales en el concreto patrón y concretos con fibra ultrafina



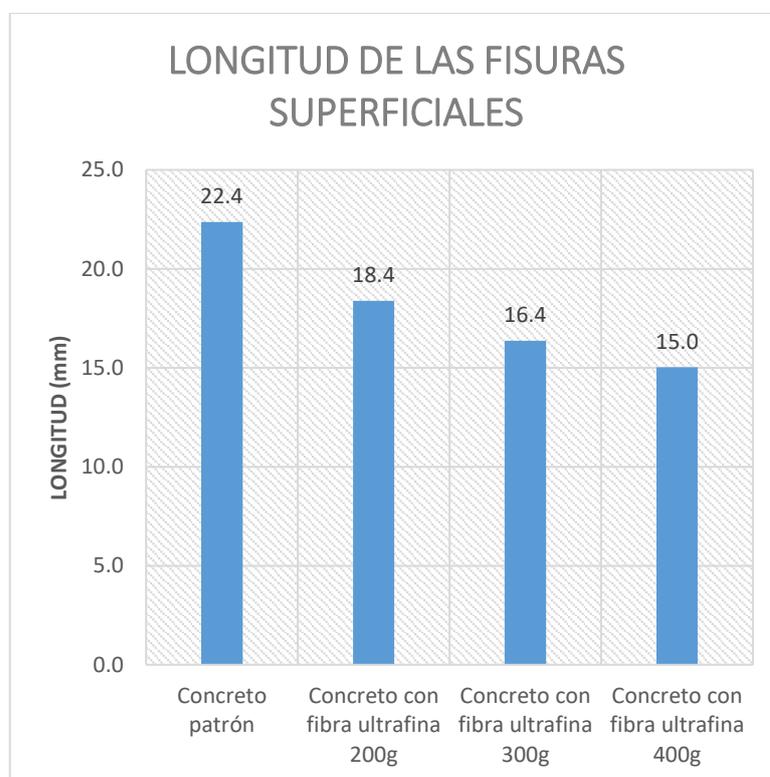
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 8.18. Fisuras superficiales y laterales del concreto patrón y concretos con fibra ultrafina

Tipo de concreto	Fisura superficial		Fisura lateral	
	Long (mm)	ancho (mm)	Long (mm)	ancho (mm)
Concreto patrón	22.4	0.15	28.7	0.18
Concreto con fibra ultrafina 200g	18.4	0.11	20.4	0.11
Concreto con fibra ultrafina 300g	16.4	0.11	18.6	0.15
Concreto con fibra ultrafina 400g	15.0	0.11	20.3	0.10

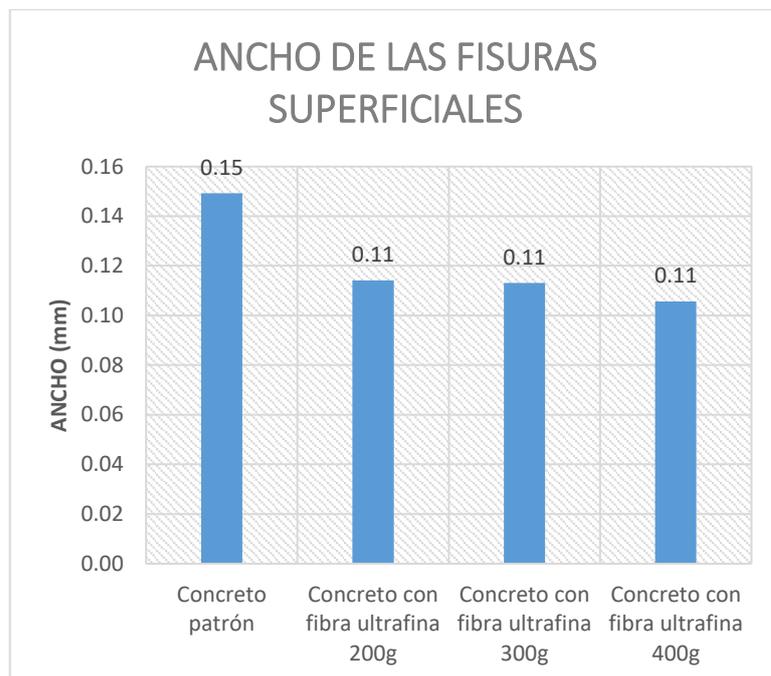
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.15. Longitud de fisuras superficiales del concreto patrón y concretos con fibra ultrafina



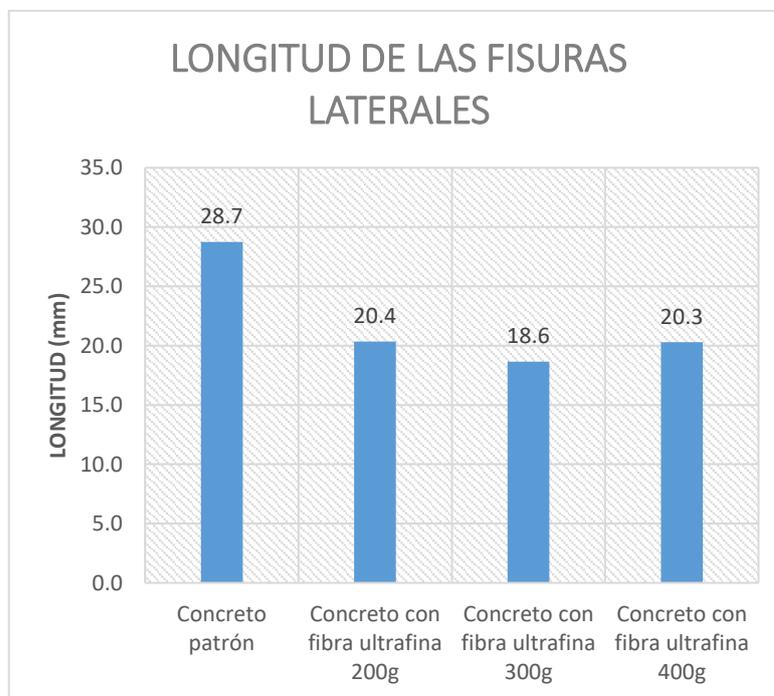
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.16. Ancho de fisuras superficiales del concreto patrón y concretos con fibra ultrafina



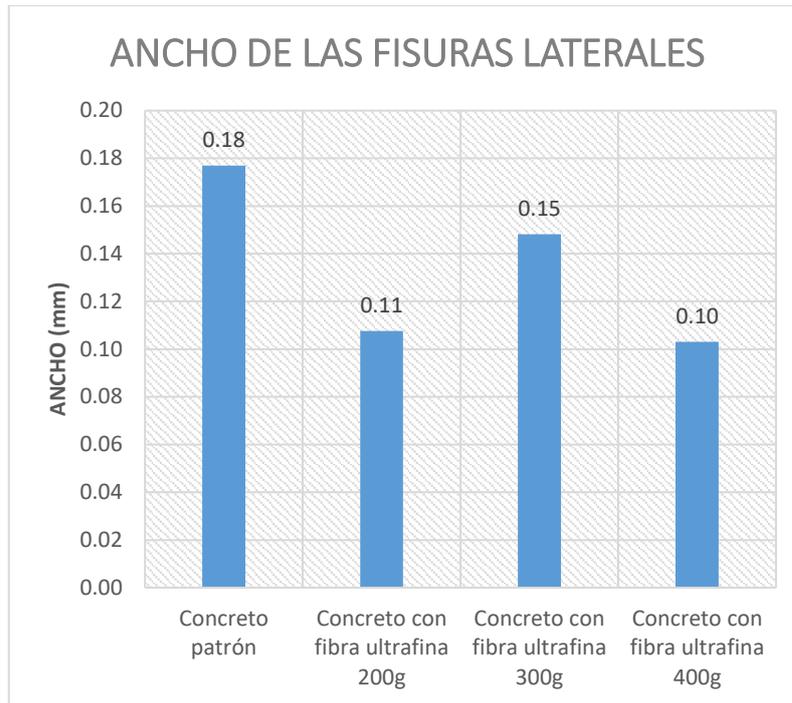
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.17. Longitud de fisuras laterales del concreto patrón y concretos con fibra ultrafina



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.18. Ancho de fisuras laterales del concreto patrón y concretos con fibra ultrafina



Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

En esta investigación se analiza el comportamiento del concreto con cemento portland tipo I, agregado fino de la cantera Huaycán, agregado grueso de la cantera Santa Clara y fibras de polipropileno (fibra ultrafina) para una relación $a/c:0.60$. Las dosificaciones de las fibras son de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³ de concreto, con estas proporciones de fibras se estudió el grado de reducción de las fisuras en el concreto generadas en el estado plástico. Se evaluaron los resultados de los siguientes ensayos en estado fresco: asentamiento, peso unitario, fluidez, contenido de aire, exudación y tiempo de fragua; y de los siguientes ensayos en estado endurecido: resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por compresión diametral y el módulo elástico estático. Adicionalmente se realizó el ensayo de contracción restringida para estimar la tendencia a la fisuración en los anillos de concretos curados durante 7 días.

1. Agregados.

- a. Se verificó que el agregado fino y el agregado grueso analizados independientemente cumplen con los husos granulométricos recomendados por la norma NTP400.012.
- b. Según el ensayo del agregado global, se encontró la combinación óptima que generó el mayor valor del PUC para una proporción del 49% de arena y 51% de piedra chancada.

2. Concreto fresco.

- a. Asentamiento. Comparando los resultados de los asentamientos: 100%, 88.2%, y 94.1% para concretos con fibras ultrafina de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³, respectivamente; no existe una tendencia.
- b. Peso unitario. Comparando los resultados de pesos unitarios: 99.4%, 98.9% y 98.8% para concretos con fibra ultrafina de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³, respectivamente; se concluye que el peso unitario prácticamente se mantiene constante.
- c. Fluidez. En concordancia con los resultados obtenidos: 102.1%, 104.1% y 98.6% para concretos con fibra ultrafina de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³, respectivamente; se observa que no existe una relación de dependencia entre la fluidez y la concentración de las fibras.
- d. Contenido de aire. Según los resultados obtenidos: 90%, 85% y 83% del contenido de aire para concretos con fibra ultrafina de 200 g/m³, 300 g/m³

- y 400 g/m³, respectivamente; se afirma que el contenido del aire disminuye a medida que aumenta la concentración de la fibra ultrafina (para los agregados con propiedades físicas detalladas en esta investigación).
- e. Exudación. Según los resultados del ensayo: 55.1%, 59.2% y 51% para concretos con fibra ultrafina de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³, respectivamente, se concluye que no existe una tendencia.
 - f. Tiempo de fragua. Según los resultados del tiempo de fraguado inicial: 81%, 106.3% y 73.5% para concretos con fibra ultrafina de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³, respectivamente; se observa que la dosificación de 300 g/m³ retarda el fraguado. Según los resultados del tiempo de fraguado final: 98.9%, 113.4% y 79.7% para concretos con fibra ultrafina de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³, respectivamente; se observa que la dosificación de 300 g/m³ retarda el fraguado.
3. Concreto endurecido.
- a. Resistencia a la compresión. Según los resultados del ensayo de la resistencia a la compresión a los 7 días: 112.7%, 116.6% y 114.7% para concretos con fibra ultrafina de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³, respectivamente; se afirma que la mayor resistencia a la compresión se logra para el concreto con 300 g/m³ de fibra ultrafina. Según los resultados del ensayo de la resistencia a la compresión a los 28 días: 118.7%, 123.3% y 118.8% % para concretos con fibra ultrafina de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³; se afirma que la resistencia a la compresión aumenta con el uso de la fibra ultrafina.
 - b. Resistencia a la tracción por compresión diametral. Según los resultados del ensayo de la resistencia a la tracción a los 7 días: 90%, 74.1% y 107.8% para concretos con fibra ultrafina de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³; se afirma que no existe una tendencia. Según los resultados del ensayo de la resistencia a la tracción a los 28 días: 117%, 90.1% y 106% para concretos con fibra ultrafina de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³; se afirma que la resistencia a la tracción no presenta una relación de dependencia con la concentración de las fibras en el concreto.
 - c. Modulo elástico estático. Según los resultados obtenidos: 113.4%, 107% y 105.3% para concretos con fibra ultrafina de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400

g/m³; se afirma que el módulo elástico estático aumenta con el uso de la fibra ultrafina.

4. Ensayo de la Contracción Restringida en el concreto. Se ensayaron para cuatro tipos de concreto (concreto patrón, y concretos con fibras ultrafina de polipropileno de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³).
 - a. Contracción restringida en el concreto patrón. Las cantidades de las fisuras superficiales y laterales en el concreto patrón aumentan a medida que aumenta la temperatura de exposición, fueron ensayadas a temperaturas de 22°C y 25°C. Las longitudes de las fisuras superficiales no aumentan al aumentar la temperatura, pero el ancho de las fisuras superficiales aumenta con el incremento de la temperatura. Las longitudes de las fisuras laterales aumentan con el incremento de la temperatura, así como también aumentan sus espesores de dichas fisuras con el aumento de la temperatura.
 - b. Contracción restringida en el concreto con 200 g/m³ de fibra ultrafina. Se ensayaron en días diferentes con temperaturas promedios de 23.5°C y 27.5°C. Las cantidades de las fisuras superficiales y laterales aumentan a medida que incrementa la temperatura de exposición. Las longitudes de las fisuras superficiales no aumentan con el incremento de la temperatura, pero si aumentan de espesor; sin embargo, al homogenizar adecuadamente el mezclado de las fibras (mezclado óptimo), se logró reducir la longitud y el espesor de las fisuras aun aumentando la temperatura. Las longitudes de las fisuras laterales aumentan con el incremento de la temperatura, así como también aumentan los espesores de dichas fisuras; con el mezclado óptimo de las fibras se logró reducir tanto las longitudes como sus anchos de las fisuras aun aumentando la temperatura. Las primeras tres muestras de anillo (M1, M2 y M3) se realizaron agregando las fibras al concreto fresco y luego re mezclando por un tiempo adicional, en el segundo grupo de muestras (M4 y M5) primero se mezclaron los agregados y las fibras con una pequeña cantidad de agua, posteriormente se agregaron el cemento y el agua restante (mezclado óptimo).
 - c. Contracción restringida en el concreto con 300 g/m³ de fibra ultrafina. Se ensayaron en días diferentes con temperaturas promedios de 25°C y 27°C.

Las cantidades de las fisuras superficiales y laterales en el concreto aumentan a medida que aumenta la temperatura de exposición. Las longitudes de las fisuras superficiales no aumentan al incrementar la temperatura, pero si aumenta el espesor de dichas fisuras. Las longitudes de las fisuras laterales aumentan con el incremento de la temperatura, así como también aumentan sus espesores. Con un mezclado óptimo de las fibras se logró reducir tanto las longitudes como sus anchos de las fisuras superficiales y laterales aun aumentando la temperatura. Se observó que las fisuras generalmente ocurrían en las zonas donde había ausencia de fibras o la presencia de fibras eran carentes.

- d. Contracción restringida en el concreto con 400 g/m³ de fibra ultrafina. Se ensayaron en días diferentes con temperaturas promedios de 25°C y 27°C. Las cantidades de las fisuras superficiales y laterales del concreto aumentan con el incremento de la temperatura de exposición. Las longitudes de las fisuras superficiales no aumentan al incrementar la temperatura, pero si aumentan de ancho dichas fisuras. Las longitudes de las fisuras laterales aumentan con el incremento de la temperatura, así como también aumentan sus espesores de dichas fisuras. Con un mezclado óptimo de las fibras se logró reducir tanto las longitudes como los espesores de las fisuras longitudinales y superficiales aun aumentando la temperatura.
- e. Concreto patrón y concretos con fibras ultrafina. Comparando los resultados de los cuatro tipos de concretos, pero teniendo en cuenta que los ensayos se realizaron dentro del rango de temperaturas que van desde los 22°C hasta 27.5°C. La cantidad de las fisuras superficiales en promedio son: 10, 8, 7 y 3 fisuras para concreto patrón y concretos con fibra ultrafina de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³; respectivamente. La cantidad de las fisuras laterales en promedio son: 13, 9, 12 y 3 fisuras para concreto patrón y concretos con fibra ultrafina de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³; respectivamente. Se concluye que la cantidad de fisuras superficiales y las fisuras laterales disminuyen al agregar las fibras de polipropileno al concreto.

RECOMENDACIONES

- a. Al preparar la mezcla de concreto con fibras de polipropileno “fibra ultrafina” es recomendable primero desmenuzar las fibras, luego mezclar solamente con los agregados y una porción de agua para que las fibras puedan distribuirse homogéneamente en toda la estructura, finalmente agregar el cemento y el resto del agua para proceder con el mezclado.
- b. La dosificación recomendable según la hoja técnica de la fibra ultrafina es de 300 g/m³, pero según los ensayos realizados una dosificación de 400 g/m³ reduce mucho más las fisuras por contracción del concreto y mantiene la trabajabilidad del concreto.
- c. Durante los ensayos de contracción es recomendable registrar las condiciones atmosféricas de temperatura, ya que la temperatura influye directamente en la generación de las fisuras.
- d. Para realizar los ensayos de contracción y probar técnicas o aditivos que reduzcan las fisuras en el concreto, primero es necesario buscar las condiciones para generar fisuras en el anillo de concreto, por ende, es recomendable ensayar en meses de verano para poder llegar a una temperatura adecuada que genere las fisuras en el concreto. De lo contrario será necesario usar hornos para llegar a fisurar el anillo de concreto.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cachay Huamán Rafael. "Diseño de mezclas, método de agregado global y módulo de finura, para concretos de mediana y alta resistencia", Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Civil, FIC-UNI, Lima, 1995.
2. Castro Tomas, Fidel Matías. "Efectos de la Fibra de Polipropileno en Concretos con Cemento Portland Tipo V", Tesis de grado para optar el Título de Ingeniero Civil, FIC-UNI, Lima, 2009.
3. Dávila Mercado, María Paula. "Efecto de la adición de fibras sintéticas sobre las propiedades plásticas y mecánicas del concreto", Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma, México, 2010.
4. Pasquel Carbajal, Enrique, "Tópicos de Tecnología del Concreto", Editorial Colegio de Ingenieros del Perú, Lima, 1993.
5. Palomino Badillo, Miguel, "Estudio del concreto con Cemento Portland tipo IP y Aditivo Superplastificante", Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Civil, FIC-UNI, Lima, 2017.
6. Rivera López, Gerardo Antonio. "Concreto Simple", Editorial civilgeeks, Universidad del Cauca, Colombia, 2000.
7. Rivva López, Enrique. "Naturaleza y Materiales del Concreto", Editorial capítulo peruano ACI, Lima, 2004.
8. Rodríguez Dávila, Pamela Marula. "Estudio del Concreto con Aditivo Reductor de Contracción, Utilizando Cemento Portland Tipo I", Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Civil, FIC-UNI, Lima, 2010.
9. Rodríguez Cosar, Adolfo Raúl "Concreto en Climas Fríos, con uso de Fibras de Polipropileno e Incorporador de Aire", Tesis de grado para optar el Título de Ingeniero Civil, FIC-UNI, Lima, 2009.

10. Toirac Coral, José. "Patología de la Construcción Grietas y Fisuras en Obras de Hormigón; Origen y Protección", Ciencia y Sociedad, República Dominicana, 2004.

11. Torre Carrillo Ana Victoria, "Curso básico de tecnología del concreto para ingenieros civiles", 2004.

ANEXOS

A. AGREGADOS

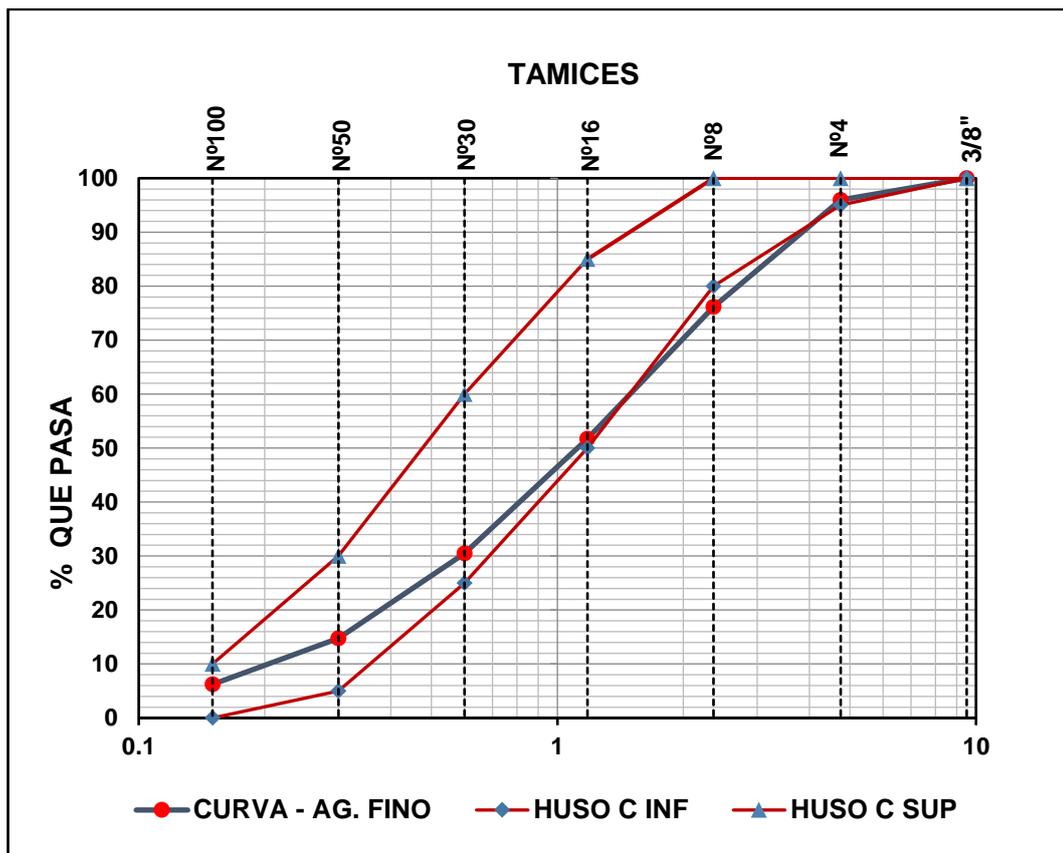
AGREGADO FINO

Cantera: Huaycán

1. Granulometría

Abertura de Tamiz		Muestra 1 (g)	Muestra 2 (g)	Muestra 3 (g)	Promedio (g)
Diámetro(Ø)	(mm)				
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº 4	4.750	24.1	25.3	22.6	24.0
Nº 8	2.360	119.1	120.2	117.7	119.0
Nº 16	1.180	146.6	144.3	148.6	146.5
Nº 30	0.600	127.7	125.9	129.5	127.7
Nº 50	0.300	94.2	94.4	94.0	94.2
Nº 100	0.150	51.4	51.5	51.0	51.3
< Nº 100	Fondo	36.9	38.4	36.6	37.3
	Total	600.0	600.0	600.0	600.0

Abertura de Tamiz		Peso Retenido (g)	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa
Diámetro(Ø)	(mm)				
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0
Nº 4	4.750	24.0	4.0	4.0	96.0
Nº 8	2.360	119.0	19.8	23.8	76.2
Nº 16	1.180	146.5	24.4	48.3	51.8
Nº 30	0.600	127.7	21.3	69.5	30.5
Nº 50	0.300	94.2	15.7	85.2	14.8
Nº 100	0.150	51.3	8.6	93.8	6.2
< Nº 100	Fondo	37.3	6.2	100.0	0.0
	Total	600.0	100.0	MF = 3.25	



2. Módulo de finura.

$$MF = \frac{\sum \% (3" + 1 \frac{1}{2}" + 3/4" + 3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

M.F = 3.25

3. Peso unitario

3.1. Peso unitario suelto (PUS).

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
P. balde(1/10p3)	g	1576.8	1576.8	1576.8
P. muestra suelta+P. balde(1/10p3)	g	5833.3	5831.5	5835.1
P. muestra	g	4256.5	4254.7	4258.3
Vol. balde(1/10p3)	cm ³	2831.69	2831.69	2831.69
Peso unitario suelto	g/cm ³	1.503	1.503	1.504

$$P.U.S. = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

$$P.U.S. = 1.50333 \text{ g/cm}^3$$

$$P.U.S. = 1503.33 \text{ kg/m}^3$$

3.2. Peso unitario compactado (PUC).

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
P. balde(1/10p3)	g	1576.8	1576.8	1576.8
P. muestra compactado+P.balde(1/10p3)	g	6436.0	6335.3	6438.1
P. muestra	g	4859.2	4758.5	4861.3
Volumen balde(1/10p3)	cm ³	2831.69	2831.69	2831.69
Peso unitario compactado	g/cm ³	1.716	1.68	1.717

$$P.U.S. = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

$$P.U.C. = 1.704 \text{ g/cm}^3$$

$$P.U.C. = 1704.33 \text{ kg/m}^3$$

4. Peso específico.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso en estado s.s.s.	g	500.0	500.0	500.0
Peso de sss + agua + fiola	g	930.1	952.8	942.1
Peso fiola	g	142.1	142.1	142.1
Volumen de fiola	cm ³	500.0	500.0	500.0
Peso del agua en la fiola	g	---	---	---
Peso secado en horno	g	489.2	493.4	491.3

$$\text{Volúmen agua} = \frac{\text{Peso agua}}{1 \text{ g/cm}^3}$$

$$\text{Volúmen muestra} = \text{Volúmen fiola} - \text{Volúmen agua}$$

$$P.E \text{ masa} = \frac{\text{Peso muestra secado en horno}}{\text{Volúmen fiola} - \text{Volúmen agua}}$$

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso en estado s.s.s.	g	500.0	500.0	500.0
Peso de sss + agua + fiola	g	930.1	952.8	942.1
Peso fiola	g	142.1	142.1	142.1
Volumen de fiola	cm ³	500.0	500.0	500.0
Peso del agua en la fiola	g	288.0	310.7	300.0
Peso secado al horno	g	489.2	493.4	491.3
Peso específico masa	g/cm ³	2.3075	2.6064	2.4565

P.E.m = 2.45680 g/cm³
P.E. m= 2456.80 kg/m³

5. Absorción.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de la muestra s.s.s.	g	500.0	500.0	500.0
Peso secado al horno	g	489.2	493.4	491.3
% de absorción		2.208	1.338	1.771

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso sss} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}}$$

%Abs = 1.77 %

6. Contenido de humedad.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso natural	g	500.0	500.0	500.0
Peso secado al horno	g	485.6	485.2	485.0
% Contenido de humedad		2.965	3.05	3.093

$$\% C.H = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} \times 100\%$$

C.H = 3.04 %

AGREGADO GRUESO.

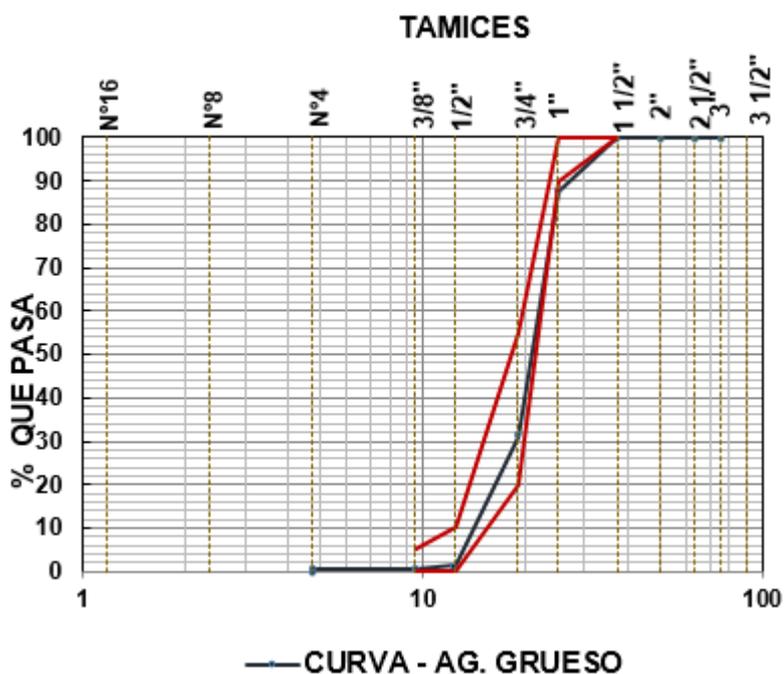
Cantera: Santa Clara

1. Granulometría.

Abertura de Tamiz		Muestra1 (g)	Muestra2 (g)	Muestra3 (g)	Promedio (g)
Diámetro(Ø)	(mm)				
3"	75.00	0.0	0.0	0.0	0.0
2 1/2"	63.00	0.0	0.0	0.0	0.0
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	0.0
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	25.00	1183.8	1210.0	1298.8	1230.8
3/4"	19.00	5621.9	5778.1	5590.0	5663.3
1/2"	12.50	3043.1	2888.8	3000.6	2977.5

Abertura de Tamiz		Muestra1 (g)	Muestra2 (g)	Muestra3 (g)	Promedio (g)
Diámetro(Ø)	(mm)				
3/8"	9.50	69.4	66.3	62.5	66.0
Nº 4	4.75	36.3	25.6	22.5	28.2
<Nº 4	Fondo	45.6	31.3	25.6	34.2
	Total	10000.0	10000.0	10000.0	10000.0

Abertura de Tamiz		Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
Diámetro(Ø)	(mm)				
3"	75.00	0.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.000	1230.8	12.3	12.3	87.7
3/4"	19.000	5663.3	56.6	68.9	31.1
1/2"	12.500	2977.5	29.8	98.7	1.3
3/8"	9.500	66.0	0.7	99.4	0.6
Nº 4	4.750	28.2	0.3	99.7	0.3
<Nº 4	Fondo	34.2	0.3	100.0	0.0
	Total	10000.0	100.0	MF = 7.68	



Huso (N.T.P.400.037)	= "ASTM 5"
Módulo de finura	= 7.68
Peso de la muestra	= 10000.0
Tamaño máximo	= 1 1/2"
Tamaño máximo Nominal	= 1"

2. Peso unitario.

2.1. Peso unitario suelto (PUS).

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso balde(1/3p3)	g	4360	4360	4360
P.muestra+P.balde(1/3p3)	g	17230	17390	17310
Peso muestra	g	12870	13030	12950
Vol. balde(1/3p3)	cm3	9438.95	9438.95	9438.95
Peso unitario suelto	g/cm3	1.363	1.38	1.372

$$P.U.S. = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

P.U.S. = 1.37167 g/cm3

P.U.S. = 1371.67 kg/m3

2.2. Peso unitario compactado (PUC).

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso balde(1/3p3)	g	4360	4360	4360
P.muestra+Pbalde(1/3p3)	g	18620	18860	18740
Peso muestra	g	14260	14500	14380
Vol. balde(1/3p3)	cm3	9438.95	9438.95	9438.95
Peso unitario compactado	g/cm3	1.511	1.536	1.523

$$P.U.C. = \frac{\text{Peso del material compactado}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

P.U.C. = 1.52333 g/cm3

P.U.C. = 1523.33 kg/m3

3. Peso específico.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso en estado s.s.s. (B)	g	4000.4	4000.3	4000
Peso de canastilla sumergida	g	873.4	873.4	873.4
Peso muestra sss en agua + canastilla	g	3379.6	3379.5	3379.4
P. muestra sss en el agua (C)	g	---	---	---
Peso secado al horno (A)	g	3975.2	3975.7	3975.6
Volumen de la muestra	cm ³	---	---	---

$$\text{Empuje} = \text{Peso real} - \text{Peso aparente}$$

$$\text{Empuje} = V_{\text{sumergido}} \times \gamma_{\text{agua}} = V_{\text{sumergido}} \times (1 \text{ g/cm}^3)$$

$$V_{\text{sumergido}} = V_{\text{muestra}}$$

$$PEm = \frac{A}{B - C} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$$

Donde:

A: Peso de la muestra secada al horno pesada en el aire, en gramos.

B: Peso de la muestra en estado saturada superficialmente seca pesada en el aire, en gramos.

C: Peso de la muestra saturada superficialmente seca pesada en el agua, en gramos.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso en estado s.s.s. (B)	g	4000.4	4000.3	4000.0
Peso de canastilla sumergida	g	873.4	873.4	873.4
Peso muestra sss en agua + canastilla	g	3379.6	3379.5	3379.4
P. muestra sss en el agua (C)	g	2506.2	2506.1	2506
Peso secado al horno (A)	g	3975.2	3975.7	3975.6
Volumen de la muestra	cm ³	1494.2	1494.2	1494
Peso específico masa	g/cm ³	2.6604	2.6608	2.661

$$P.E. m = 2.66073 \text{ g/cm}^3$$

$$P.E. m = 2660.73 \text{ kg/m}^3$$

4. Absorción.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de la muestra s.s.s.	g	3000.4	3000.3	3000.0
Peso secado al horno	g	2975.2	2975.7	2975.6
% de absorción		0.847	0.827	0.82

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso sss} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}}$$

%Abs = 0.83 %

5. Contenido de humedad.

Descripción	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso natural	g	4000.0	4000.0	4000.0
Peso secado al horno	g	3986.0	3988.4	3984.8
% Contenido de humedad		0.351	0.291	0.381

$$\% C.H = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} \times 100\%$$

C.H = 0.34 %

B. DISEÑO DE MEZCLAS

Propiedades Físicas		
Propiedad	Arena	Piedra
PUS (kg/m ³)	1503.33	1371.67
PUC (kg/m ³)	1704.33	1523.33
PE masa (kg/m ³)	2456.80	2660.73
A (%)	1.77	0.83
W (%)	3.04	0.34
TMN (pulg)	N°4	1.0
MF	3.25	7.68

% Arena 49 %
% Piedra 51 %

Procedimiento.

a) Relación a/c.

según la presente tesis es: a/c=0.60

b) Asentamiento.

Se elige en el rango 3.5" a 4.5"

c) Contenido de aire.

TMN = 1"

Aire= 1.5 %

d) Cantidad de agua.

la cantidad de agua para un asentamiento entre 3" a 4" y TMN de 1" es:

Agua= 193 L

$$\text{Agua teórica} = 193 L$$

e) Cantidad de cemento.

Se calcula con el volumen de agua obtenido en el procedimiento anterior.

a/c=0.60

$$\frac{a}{c} = \frac{193}{c} = 0.60$$

$$c = 321.67 \text{ kg}$$

f) Volumen total de agregados.

$$\text{Volumen agregados} = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. cemento} + \text{Vol. aire})$$

$$\text{Volumen agregados} = 1 - \left(\frac{193}{1000} + \frac{321.67}{3150} + \frac{1.5}{100} \right)$$

$$\text{Volumen agregados} = 0.690 \text{ m}^3$$

g) Volumen de los agregados.

$$\text{Vol. arena} = \left(\frac{\frac{\% \text{ Arena}}{PE \text{ arena}}}{\frac{\% \text{ Arena}}{PE \text{ arena}} + \frac{\% \text{ Piedra}}{PE \text{ piedra}}} \right) \times \text{Vol}_{\text{agregados}}$$

$$\text{Vol. piedra} = \left(\frac{\frac{\% \text{ Piedra}}{PE \text{ arena}}}{\frac{\% \text{ Arena}}{PE \text{ arena}} + \frac{\% \text{ Piedra}}{PE \text{ piedra}}} \right) \times \text{Vol}_{\text{agregados}}$$

h) Peso seco de los agregados.

$$\text{Peso seco arena} = \text{Vol. arena} \times PE \text{ arena}$$

$$\text{Peso seco piedra} = \text{Vol. piedra} \times PE \text{ piedra}$$

$$\text{Peso seco arena} = 0.352 \text{ m}^3 \times 2456.80 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 864.29 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso seco piedra} = 0.338 \text{ m}^3 \times 2660.73 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 899.56 \text{ Kg}$$

i) Pesos húmedos.

$$\text{Peso humedo arena} = \text{Peso seco arena} (1 + \%W \text{ arena})$$

$$\text{Peso humedo piedra} = \text{Peso seco piedra} (1 + \%W \text{ arena})$$

$$\text{Peso humedo arena} = 864.29 \left(1 + \frac{3.04}{100} \right) = 890.53 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso humedo piedra} = 899.56 \left(1 + \frac{0.34}{100} \right) = 902.63 \text{ Kg}$$

j) Corrección del agua de diseño.

$$\text{Aporte humedad arena} = \text{Peso seco arena} (\%W \text{ arena} - \%Abs. \text{ arena})$$

$$\text{Aporte humedad piedra} = \text{Peso seco piedra} (\%W_{\text{piedra}} - \%Abs.\text{piedra})$$

$$\text{Aporte humedad arena} = 864.29 \text{ kg} (3.04\% - 1.77\%) = 10.92 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Aporte humedad piedra} = 899.56 \text{ kg} (0.34\% - 0.83\%) = -4.41 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Aporte humedad total} = 10.92 \frac{\text{L}}{\text{m}^3} + \left(-4.41 \frac{\text{L}}{\text{m}^3} \right) = 6.51 \frac{\text{L}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua teórica} - \text{Aporte humedad total}$$

La cantidad de agua efectiva para 1 m³ de concreto es:

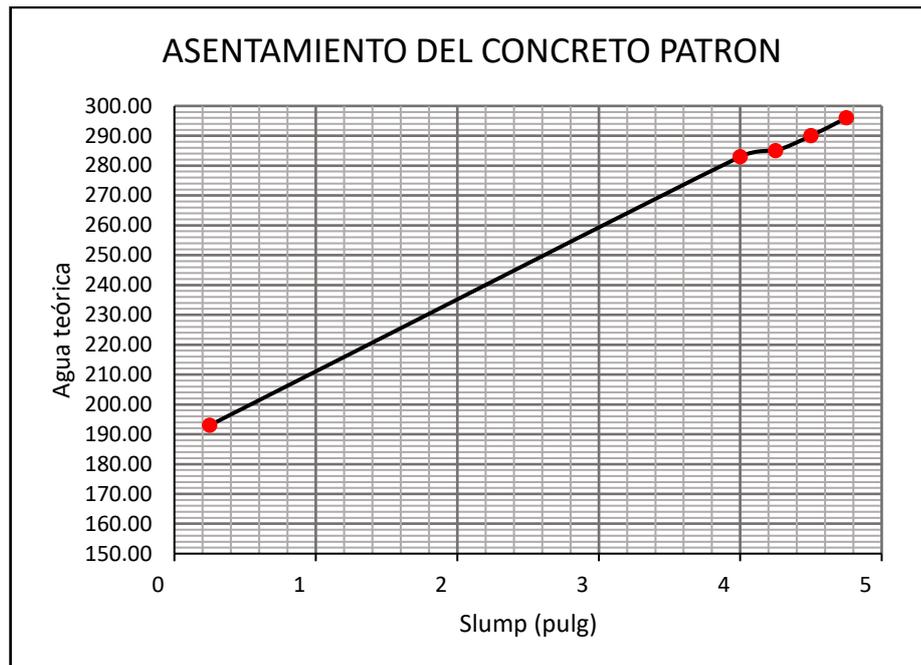
$$\text{Agua efectiva} = 193 \text{ L} - 6.51 \text{ L} = 186.49 \text{ L}$$

k) Pesos de materiales corregidos.

Materiales	Peso obra	Unidad
Cemento:	321.67	kg/m ³
Agua:	186.49	L/m ³
Arena:	890.53	kg/m ³
Piedra:	902.63	kg/m ³

l) Asentamientos

Agua Teórica (L)	Slump (pulg)
193.00	1/4
283.00	4
285.00	4 1/4
290.00	4 1/2
296.00	4 3/4



Según la gráfica la cantidad de agua que genera un asentamiento de 4 1/4" pulgadas es:

$$\text{Agua teórica} = 285.00 \text{ L/m}^3$$

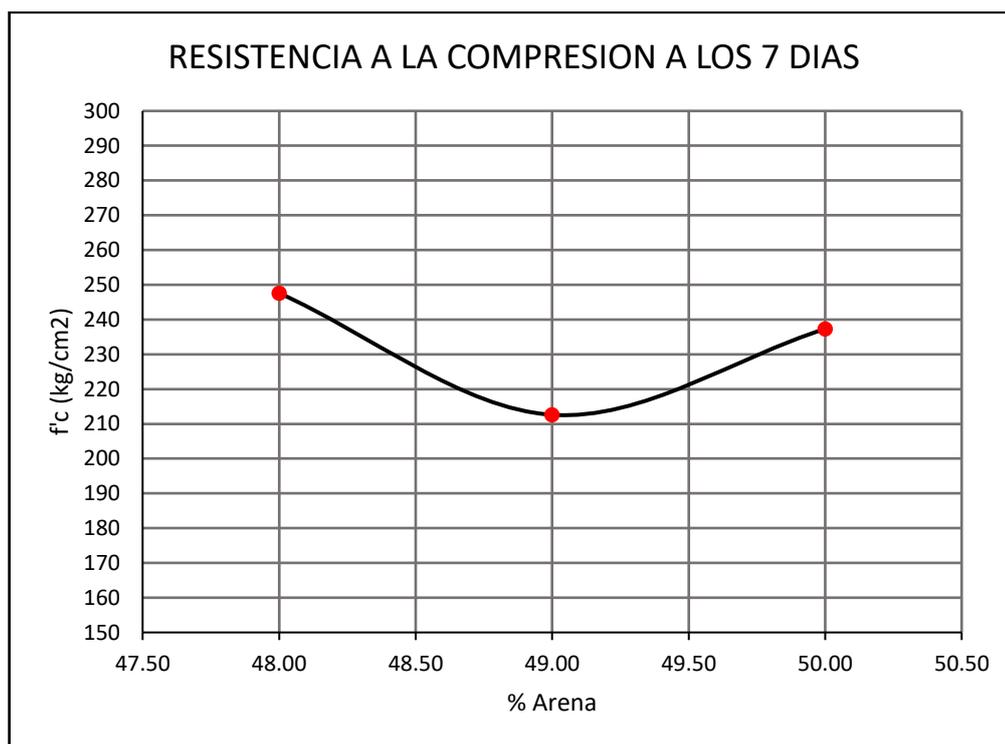
m) Rediseño de la mezcla.

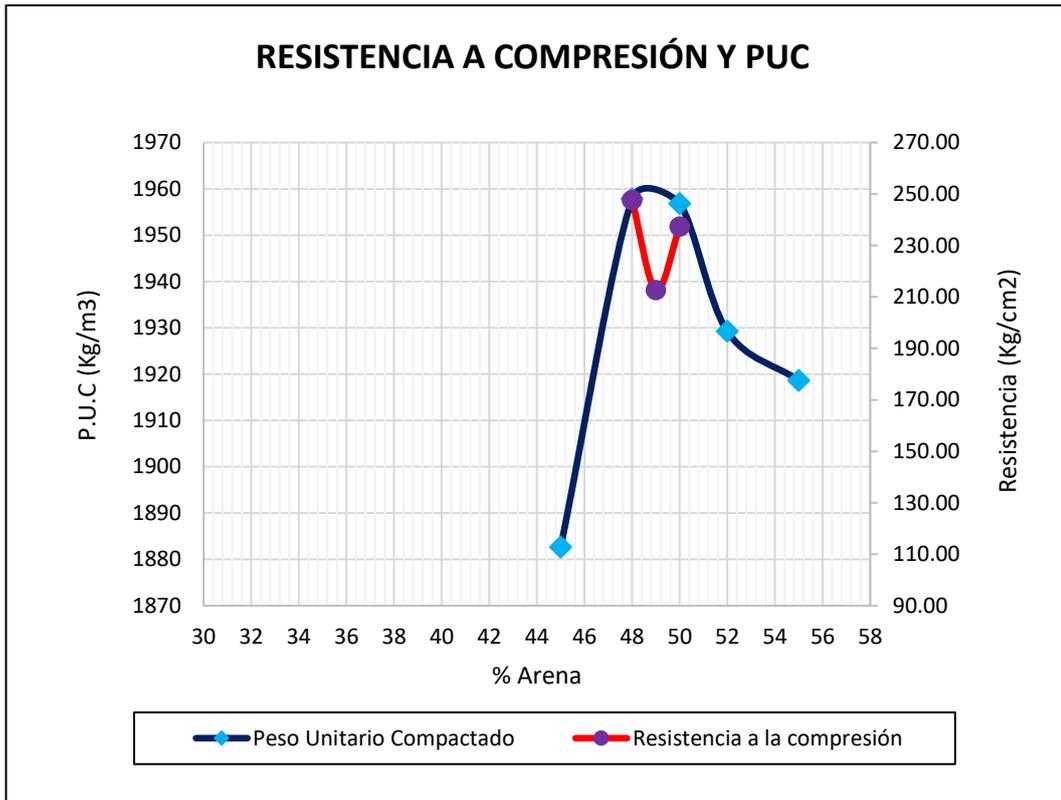
Materiales	Peso obra	Unidad
Cemento:	475.00	kg/m ³
Agua:	279.82	L/m ³
Arena:	708.94	kg/m ³
Piedra:	718.57	kg/m ³
Slump:	4 1/4	pulg

Paso 3.

Reajuste de la proporción arena/piedra.

Arena (%)	Muestra	Dim. (cm)		Área (cm ²)	Carga (kg)	f'c (Kg/cm ²)	f'c (Kg/cm ²) prom.
		Ø	h				
48	M1	9.85	20.85	76.2	17899.4	234.90	247.6
	M2	10	20.9	78.54	19600.4	249.56	
	M3	9.75	20.9	74.66	19286.7	258.33	
49	M1	9.8	20.7	75.43	14762.1	195.71	212.6
	M2	9.95	20.8	77.76	17129.2	220.28	
	M3	9.9	20.7	76.98	17082.9	221.91	
50	M1	9.95	20.85	77.76	18129.5	233.15	237.3
	M2	9.85	20.6	76.2	17692.4	232.18	
	M3	10.1	21	80.12	19744.8	246.44	





Según la gráfica se escoge la proporción arena/piedra = 48/52 porque genera la mayor resistencia a la compresión a los 7 días y el mayor peso unitario compactado del agregado global.

Dosificación del concreto Patrón

Concreto Patrón		
Materiales	Peso obra	Unidad
Cemento:	475.00	kg/m ³
Agua:	280.06	L/m ³
Arena:	695.04	kg/m ³
Piedra:	733.27	kg/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Dosificación de concreto con microfibra 200g/m³

Concreto con Fibra 200 g		
Materiales	Peso obra	Unidad
Cemento:	475.00	kg/m ³
Agua:	280.06	L/m ³
Arena:	695.04	kg/m ³
Piedra:	733.27	kg/m ³
Fibra:	200.00	g/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Dosificación de concreto con microfibra 300g/m³

Concreto con Fibra 300 g		
Materiales	Peso obra	Unidad
Cemento:	475.00	kg/m ³
Agua:	280.06	L/m ³
Arena:	695.04	kg/m ³
Piedra:	733.27	kg/m ³
Fibra:	300.00	g/m ³

Fuente: Elaboración Propia

Dosificación de concreto con microfibra 400g/m³

Concreto con Fibra 400 g		
Materiales	Peso obra	Unidad
Cemento:	475.00	kg/m ³
Agua:	280.06	L/m ³
Arena:	695.04	kg/m ³
Piedra:	733.27	kg/m ³
Fibra:	400.00	g/m ³

Fuente: Elaboración Propia

C. CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Asentamiento.

Tipo de Concreto	Asentamiento (pulgadas)
Concreto patrón	4 1/4
Concreto con fibra ultrafina 200 g	4 1/4
Concreto con fibra ultrafina 300 g	3 3/4
Concreto con fibra ultrafina 400 g	4

Peso Unitario

Tipo de concreto	Peso (kg) muestra + balde	Peso de balde
Concreto patrón	26.46	4.80
	26.51	4.81
	26.44	4.82
Concreto con fibra ultrafina 200g/m ³	26.30	4.82
	26.33	4.82
	26.42	4.82
Concreto con fibra ultrafina 300g/m ³	26.24	4.80
	26.22	4.80
	26.19	4.80
Concreto con fibra ultrafina 400g/m ³	26.22	4.80
	26.17	4.80
	26.22	4.80

Fluidez.

Tipo de concreto	D prom. (cm)	% fluidez
Concreto patrón	39.38	57.5%
Concreto con fibra ultrafina 200g	39.68	58.7%
Concreto con fibra ultrafina 300g	39.96	59.8%
Concreto con fibra ultrafina 400g	39.17	56.7%

Contenido de aire.

Tipo de concreto	Contenido de Aire
Concreto patrón	1.00%
Concreto con fibra ultrafina 200g	0.90%
Concreto con fibra ultrafina 300g	0.85%
Concreto con fibra ultrafina 400g	0.83%

Exudación.

Concreto patrón.

Hora (h:min)	Tiempo parcial (h:min)	Tiempo acumulado (h:min)	Vol. de agua (ml) Muestra A	Vol. de agua (ml) Muestra B	Volumen promedio (ml)	Volumen acumulado (ml)
9:33	0:00	0:00	0.00	0.00	0.00	0.00
9:43	0:10	0:10	0.00	0.00	0.00	0.00
9:53	0:10	0:20	2.60	3.40	3.00	3.00
10:03	0:10	0:30	0.00	0.00	0.00	3.00
10:10	0:07	0:37	5.60	6.20	5.90	8.90
10:40	0:30	1:07	0.00	0.50	0.25	9.15
11:10	0:30	1:37	0.00	0.00	0.00	9.15

$$C = \left(\frac{w}{W}\right)S$$

$$Exudacion = \left(\frac{D}{C}\right) 100\%$$

Donde:

C= Masa del agua en la muestra de ensayo, en gramos

W= Masa total de la tanda, en Kg

w= Agua de mezclado neta (la cantidad de agua total menos el agua absorbida por los agregados), en Kg

S= Masa de la muestra, en gramos

D= Masa del agua de exudación (gramos) o el volumen total extraído de la muestra de ensayo, en cm³, multiplicado por 1 g/cm³

peso balde 0.2 kg
p balde + muestra 9.505 kg
D 9.15 g

w 3.92 kg
W 30.57 kg
S 9305 g

C= 1193.18286 g
%Exudación 0.767%

Fibra ultrafina 200 g/m³

Hora (h:min)	Tiempo parcial (h:min)	Tiempo acumulado (h:min)	Vol. agua (ml) Muestra A	Vol. de agua (ml) Muestra B	Volumen promedio (ml)	Volumen acumulado (ml)
10:16	0:00	0:00	0.00	0.00	0.00	0.00
10:26	0:10	0:10	0.00	0.00	0.00	0.00
10:36	0:10	0:20	4.40	2.20	3.30	3.30
10:46	0:10	0:30	0.00	0.00	0.00	3.30
10:56	0:10	0:40	2.60	0.80	1.70	5.00
11:26	0:30	1:10	0.00	0.00	0.00	5.00
11:56	0:30	1:40	0.00	0.00	0.00	5.00

peso balde	0.2	kg
p balde + muestra	9.43	kg
D	5	g
w	3.92	kg
W	30.57	kg
S	9230	g

C= 1183.5656 g
%Exudación 0.422%

Fibra ultrafina 300 g/m³

Hora (h:min)	Tiempo parcial (h:min)	Tiempo acumulado (h:min)	Vol. de agua (ml) Muestra A	Vol. de agua (ml) Muestra B	Volumen promedio (ml)	Volumen acumulado (ml)
14:02	0:00	0:00	0.00	0.00	0.00	0.00
14:12	0:10	0:10	0.00	0.00	0.00	0.00
14:22	0:10	0:20	1.50	1.90	1.70	1.70
14:32	0:10	0:30	1.90	2.70	2.30	4.00
14:42	0:10	0:40	0.00	0.00	0.00	4.00
15:12	0:30	1:10	0.80	1.00	0.90	4.90
15:42	0:30	1:40	0.00	0.00	0.00	4.90

peso balde	0.2	kg
p balde + muestra	8.615	kg
D	4.90	g
w	3.92	kg
W	30.57	kg
S	8415	g

C= 1079.0579 g
%Exudación 0.454%

Fibra ultrafina 400 g/m³

Hora (h:min)	Tiempo parcial (h:min)	Tiempo acumulado (h:min)	Vol. de agua (ml) Muestra A	Vol. de agua (ml) Muestra B	Volumen promedio (ml)	Volumen acumulado (ml)
11:44	0:00	0:00	0.00	0.00	0.00	0.00
11:54	0:10	0:10	0.00	0.00	0.00	0.00
12:04	0:10	0:20	3.20	3.40	3.30	3.30
12:14	0:10	0:30	0.00	0.00	0.00	3.30
12:44	0:30	1:00	1.40	1.00	1.20	4.50
13:14	0:30	1:30	0.00	0.00	0.00	4.50
13:44	0:30	2:00	0.00	0.00	0.00	4.50

peso balde 0.2 kg
p balde + muestra 9.175 kg
D 4.50 g
w 3.92 kg
W 30.57 kg
S 8975 g

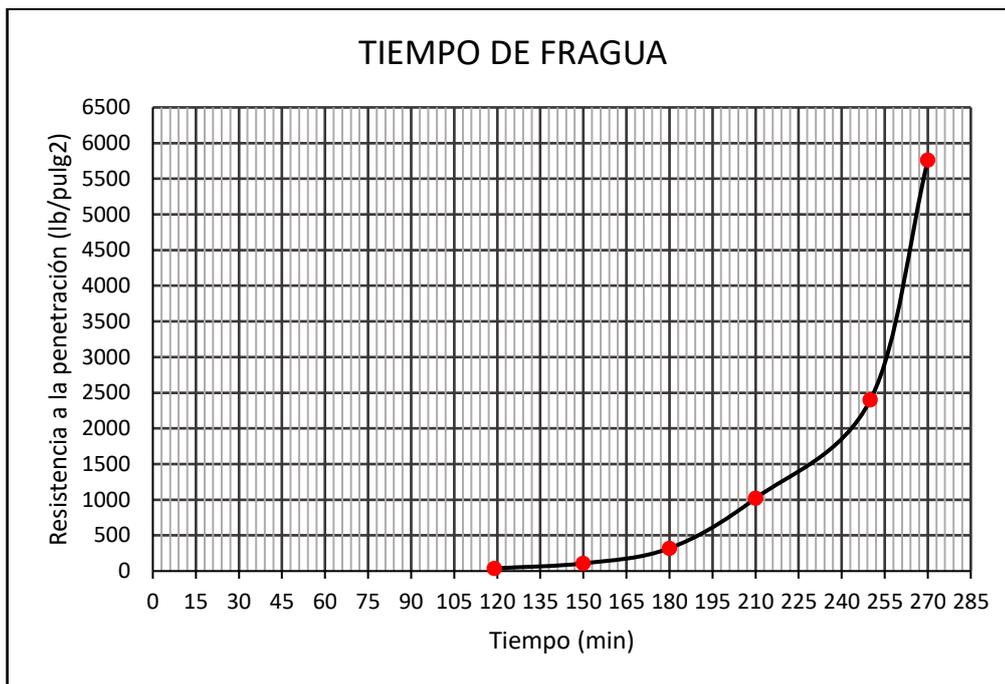
C= 1150.86686 g
%Exudación 0.391%

Tiempo de fragua.

Concreto patrón.

Tiempo real (h:min)	Tiempo absoluto (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (Libras)	Área de agujas (pulg.2)	Resistencia a la penetración (lb/pulg ²)
10:27:00	inicio				
12:26:00	12:26	746	38	1	38
12:57:00	12:57	777	54	1/2	108
13:27:00	13:27	807	80	1/4	320
13:57:00	13:57	837	102	1/10	1020
14:37:00	14:37	877	120	1/20	2400
14:57:00	14:57	897	144	1/40	5760

Tiempo de fraguado inicial 3h:09min
Tiempo de fraguado final 4h:21min

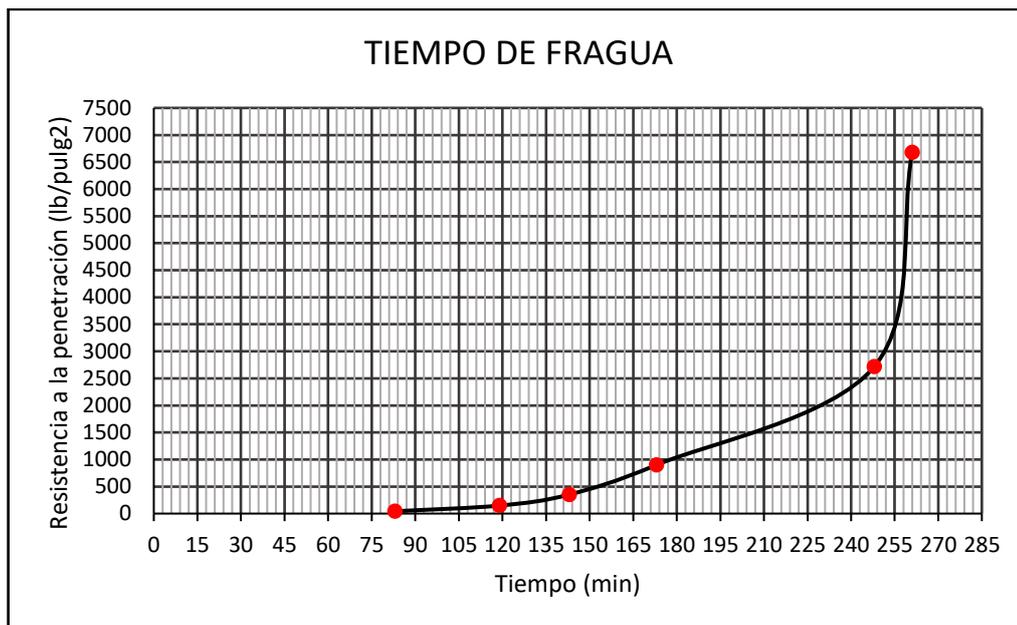


Fibra ultrafina 200 g/m³

Tiempo real (h:min)	Tiempo absoluto (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (Libras)	Área de agujas (pulg.2)	Resistencia a la penetración (lb/pulg2)
09:50:00	inicio				
11:50:00	11:50	710	42	1	42
12:26:00	12:26	746	74	1/2	148
12:50:00	12:50	770	88	1/4	352
13:20:00	13:20	800	90	1/10	900
14:35:00	14:35	875	136	1/20	2720
14:48:00	14:48	888	167	1/40	6680

Tiempo de fraguado inicial 2h:33min

Tiempo de fraguado final 4h:18min

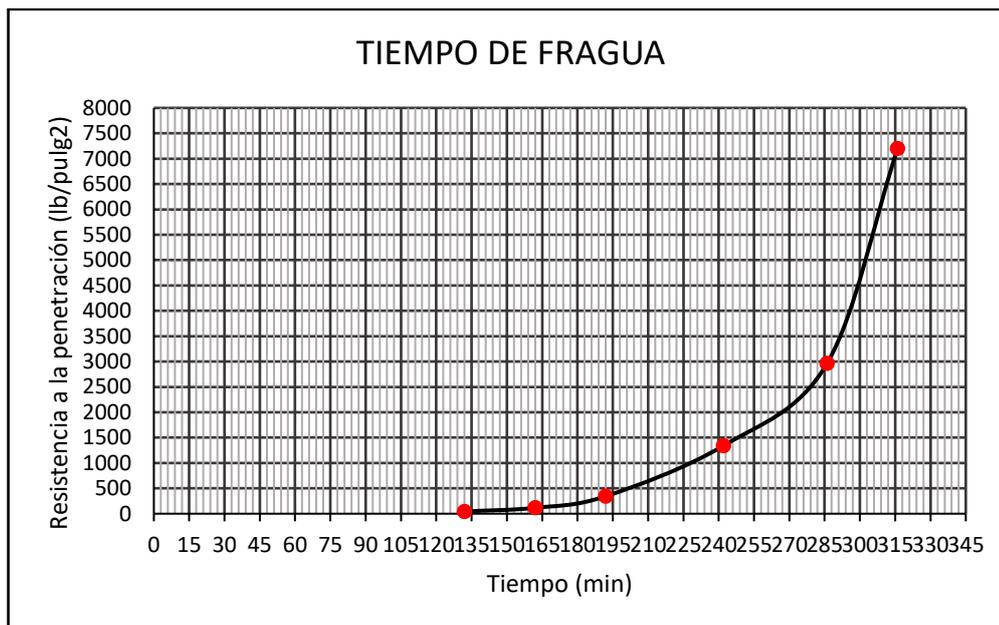


Fibra ultrafina 300 g/m³

Tiempo real (h:min)	Tiempo absoluto (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (Libras)	Área de agujas (pulg.2)	Resistencia a la penetración (lb/pulg.2)
10:29:00	inicio				
12:39:00	12:39	759	44	1	17
13:09:00	13:09	789	58	1/2	14
13:39:00	13:39	819	86	1/4	10
14:29:00	14:29	869	134	1/10	6
15:13:00	15:13	913	148	1/20	6
15:43:00	15:43	943	180	1/40	5

Tiempo de fraguado inicial 3h:21min

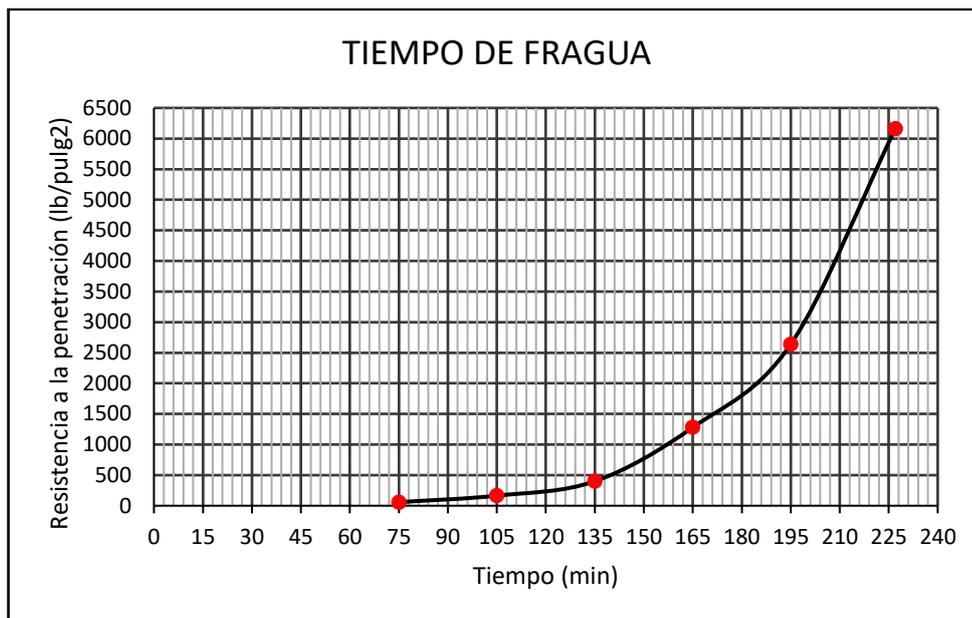
Tiempo de fraguado final 4h:56min



Fibra ultrafina 400 g/m³

Tiempo real (h:min)	Tiempo absoluto (h:min)	Tiempo absoluto (min)	Fuerza (Libras)	Área de agujas (pulg.2)	Resistencia a la penetración (lb/pulg ²)
09:27:00	inicio				
11:42:00	11:42	702	58	1	12
12:12:00	12:12	732	82	1/2	9
12:42:00	12:42	762	100	1/4	8
13:12:00	13:12	792	128	1/10	6
13:42:00	13:42	822	132	1/20	6
14:14:00	14:14	854	154	1/40	6

Tiempo de fraguado inicial 2h:19min
 Tiempo de fraguado final 3h:28min



Tipo de concreto	Tiempo de fraguado inicial (h:min)	Variación con respecto al patrón (%)
Concreto patrón	3:09	100.0%
Concreto con fibra ultrafina 200g	2:33	81.0%
Concreto con fibra ultrafina 300g	3:21	106.3%
Concreto con fibra ultrafina 400g	2:19	73.5%

Tipo de concreto	Tiempo de fraguado final (h:min)	Variación con respecto al patrón (%)
Concreto patrón	4:21	100.0%
Concreto con fibra ultrafina 200g	4:18	98.9%
Concreto con fibra ultrafina 300g	4:56	113.4%
Concreto con fibra ultrafina 400g	3:28	79.7%

D. CONCRETO ENDURECIDO

Resistencia a la compresión.

Concreto patrón.

N°	Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
1	7 días	9.95	77.76	16035.0	206.22	216.41
2		9.95	77.76	17494.0	224.98	
3		9.85	76.20	16613.0	218.01	
1	28 días	10.00	78.54	22571.7	287.39	265.81
2		10.00	78.54	23031.2	293.24	
3		10.00	78.54	20900.0	266.11	
4		10.00	78.54	21600.0	275.02	
5		10.00	78.54	20100.0	255.92	
6		10.00	78.54	20100.0	255.92	
7		10.00	78.54	21831.2	277.96	
8		10.00	78.54	21005.1	267.45	
9		10.00	78.54	22107.9	281.49	
10		10.00	78.54	21388.7	272.33	
11		10.00	78.54	21064.4	268.20	
12		10.00	78.54	20437.3	260.22	
13		10.00	78.54	21870.3	278.46	
14		10.00	78.54	19332	246.14	
15		10.00	78.54	21853.7	278.25	
16		10.00	78.54	20607.9	262.39	
17		10.00	78.54	20800	264.83	
18		10.00	78.54	22032.5	280.53	
19		10.00	78.54	20119.3	256.17	
20		10.00	78.54	20356.5	259.19	
21		10.00	78.54	18607	236.91	
22		10.00	78.54	18838.1	239.85	
23		10.00	78.54	20776.7	264.54	
24		10.00	78.54	19774.2	251.77	
25		10.00	78.54	20880	265.85	
26		10.00	78.54	20850	265.47	
27		10.00	78.54	20825.5	265.16	
28		10.00	78.54	20870.4	265.73	
29	10.00	78.54	20882.6	265.89		
30	10.00	78.54	20886.3	265.93		

Para escoger y eliminar datos atípicos de los resultados ensayados a los 28 días se calculan los cuartiles.

$$Q1 = 259.44$$

$$Q2 = 265.79$$

$$Q3 = 274.35$$

El rango intercuartil queda definida así.

$$RI = Q3 - Q1$$

$$RI = 274.35 - 259.44 = 14.90$$

Se definen los límites.

$$\text{Límites internos} = [Q1 - 1.5RI; Q3 + 1.5RI]$$

$$\text{Límites externos} = [Q1 - 3RI; Q3 + 3RI]$$

$$\text{Límites internos} = [237.09; 296.70]$$

$$\text{Límites externos} = [214.74; 319.06]$$

La probeta N°21 que tiene como $f'c=236.91 \text{ kg/cm}^2$ está fuera del rango de los límites internos, por eso será considerado como un dato atípico.

N°	Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
1	28 días	10.00	78.54	22571.7	287.39	266.81
2		10.00	78.54	23031.2	293.24	
3		10.00	78.54	20900.0	266.11	
4		10.00	78.54	21600.0	275.02	
5		10.00	78.54	20100.0	255.92	
6		10.00	78.54	20100.0	255.92	
7		10.00	78.54	21831.2	277.96	
8		10.00	78.54	21005.1	267.45	
9		10.00	78.54	22107.9	281.49	
10		10.00	78.54	21388.7	272.33	
11		10.00	78.54	21064.4	268.20	
12		10.00	78.54	20437.3	260.22	
13		10.00	78.54	21870.3	278.46	
14		10.00	78.54	19332	246.14	
15		10.00	78.54	21853.7	278.25	
16		10.00	78.54	20607.9	262.39	
17		10.00	78.54	20800	264.83	
18		10.00	78.54	22032.5	280.53	
19		10.00	78.54	20119.3	256.17	
20		10.00	78.54	20356.5	259.19	
22		10.00	78.54	18838.1	239.85	
23		10.00	78.54	20776.7	264.54	
24		10.00	78.54	19774.2	251.77	

N°	Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
25		10.00	78.54	20880	265.85	
26		10.00	78.54	20850	265.47	
27		10.00	78.54	20825.5	265.16	
28		10.00	78.54	20870.4	265.73	
29		10.00	78.54	20882.6	265.89	
30		10.00	78.54	20886.3	265.93	

Tiempo (días)	Resistencia (kg/cm ²)
7	216.41
28	266.81

Fibra ultrafina 200 g/m³

N°	Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
1	7 días	10.05	79.33	19384.6	244.36	243.96
2		9.95	77.76	18810.4	241.91	
3		9.95	77.76	19097.5	245.61	
1	28 días	10.00	78.54	24863	316.57	311.87
2		10.00	78.54	26196	333.54	
3		10.00	78.54	25156	320.30	
4		10.00	78.54	26193	333.50	
5		10.00	78.54	25318	322.36	
6		10.00	78.54	23714	301.94	
7		10.00	78.54	26375	335.82	
8		10.00	78.54	24720	314.74	
9		10.00	78.54	26434	336.57	
10		10.00	78.54	25947	330.37	
11		10.00	78.54	23113	294.28	
12		10.00	78.54	25965	330.60	
13		10.00	78.54	25769	328.10	
14		10.00	78.54	26242	334.12	
15		10.00	78.54	25353	322.80	
16		10.00	78.54	26671	339.59	
17		10.00	78.54	25305	322.19	
18	10.00	78.54	24484	311.74		
19	10.00	78.54	24192	308.02		
20	10.00	78.54	19311	245.88		
21	10.00	78.54	23124	294.42		

N°	Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
22		10.00	78.54	19033	242.34	
23		10.00	78.54	22752	289.69	
24		10.00	78.54	23696	301.71	
25		10.00	78.54	23603	300.52	
26		10.00	78.54	23818	303.26	
27		10.00	78.54	24003	305.62	
28		10.00	78.54	24492.5	311.85	
29		10.00	78.54	24494.6	311.87	
30		10.00	78.54	24496.8	311.90	

Q1 302.27

Q2 313.32

Q3 329.80

$$RI = 27.53$$

Limites internos = [260.97 ; 371.10]

N°	Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
1	28 días	10.00	78.54	24863.0	316.57	316.71
2		10.00	78.54	26196.0	333.54	
3		10.00	78.54	25156.0	320.30	
4		10.00	78.54	26193.0	333.50	
5		10.00	78.54	25318.0	322.36	
6		10.00	78.54	23714.0	301.94	
7		10.00	78.54	26375.0	335.82	
8		10.00	78.54	24720.0	314.74	
9		10.00	78.54	26434.0	336.57	
10		10.00	78.54	25947.0	330.37	
11		10.00	78.54	23113.0	294.28	
12		10.00	78.54	25965.0	330.60	
13		10.00	78.54	25769.0	328.10	
14		10.00	78.54	26242.0	334.12	
15		10.00	78.54	25353.0	322.80	
16		10.00	78.54	26671.0	339.59	
17		10.00	78.54	25305.0	322.19	
18		10.00	78.54	24484.0	311.74	
19		10.00	78.54	24192.0	308.02	
21	10.00	78.54	23124.0	294.42		
23	10.00	78.54	22752.0	289.69		

N°	Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
24		10.00	78.54	23696.0	301.71	
25		10.00	78.54	23603.0	300.52	
26		10.00	78.54	23818.0	303.26	
27		10.00	78.54	24003.0	305.62	
28		10.00	78.54	24492.5	311.85	
29		10.00	78.54	24494.6	311.87	
30		10.00	78.54	24496.8	311.90	

Tiempo (días)	Resistencia (kg/cm ²)
7	243.96
28	316.71

Fibra ultrafina 300 g/m³

N°	Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
1	7 días	10.00	78.54	19746.0	251.41	252.29
2		10.05	79.33	20401.9	257.19	
3		10.00	78.54	19500.0	248.28	
1	28 días	10.00	78.54	26299	334.85	329.06
2		10.00	78.54	26068	331.91	
3		10.00	78.54	24538	312.43	
4		10.00	78.54	24659	313.97	
5		10.00	78.54	24217	308.34	
6		10.00	78.54	24740	315.00	
7		10.00	78.54	28152	358.44	
8		10.00	78.54	25777	328.20	
9		10.00	78.54	27383	348.65	
10		10.00	78.54	27139	345.54	
11		10.00	78.54	26296	334.81	
12		10.00	78.54	27494	350.06	
13		10.00	78.54	25612	326.10	
14		10.00	78.54	26185	333.40	
15		10.00	78.54	26275	334.54	
16		10.00	78.54	27197	346.28	
17		10.00	78.54	27224	346.63	
18	10.00	78.54	25398	323.38		
19	10.00	78.54	23193	295.30		
20	10.00	78.54	26744	340.52		

N°	Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
21		10.00	78.54	25252	321.52	
22		10.00	78.54	24919	317.28	
23		10.00	78.54	25201	320.87	
24		10.00	78.54	27731	353.08	
25		10.00	78.54	26886	342.32	
26		10.00	78.54	22974	292.51	
27		10.00	78.54	24242	308.66	
28		10.00	78.54	25844.3	329.06	
29		10.00	78.54	25845.3	329.07	
30		10.00	78.54	25846.7	329.09	

Q1 318.18
Q2 329.08
Q3 341.87

$$RI = 23.69$$

$$\text{Límites internos} = [282.63 ; 377.41]$$

Tiempo (días)	Resistencia (kg/cm ²)
7	252.29
28	329.06

Fibra ultrafina 400 g/m³.

N°	Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
1	7 días	10.00	78.54	19700.0	250.83	248.28
2		10.00	78.54	20400.0	259.74	
3		10.00	78.54	18400.0	234.28	
1	28 días	10.00	78.54	26759	340.71	315.21
2		10.00	78.54	25781	328.25	
3		10.00	78.54	26715	340.15	
4		10.00	78.54	24787	315.60	
5		10.00	78.54	25344	322.69	
6		10.00	78.54	26177	333.30	
7		10.00	78.54	26963	343.30	
8		10.00	78.54	26305	334.93	
9		10.00	78.54	28402	361.63	
10		10.00	78.54	25165	320.41	

N°	Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
11		10.00	78.54	24263	308.93	
12		10.00	78.54	23241	295.91	
13		10.00	78.54	20714	263.74	
14		10.00	78.54	24503	311.98	
15		10.00	78.54	22962	292.36	
16		10.00	78.54	24018	305.81	
17		10.00	78.54	24809	315.88	
18		10.00	78.54	25052	318.97	
19		10.00	78.54	24013	305.74	
20		10.00	78.54	24661	313.99	
21		10.00	78.54	24756	315.20	
22		10.00	78.54	24800	315.76	
23		10.00	78.54	23974	305.25	
24		10.00	78.54	24359	310.15	
25		10.00	78.54	24547	312.54	
26		10.00	78.54	21717	276.51	
27		10.00	78.54	23646	301.07	
28		10.00	78.54	24756.2	315.21	
29		10.00	78.54	24750.6	315.13	
30		10.00	78.54	24762.6	315.29	

Q1 306.59

Q2 315.20

Q3 322.12

$$RI = 15.53$$

$$Limites\ internos = [283.29 ; 345.42]$$

N°	Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
1	28 días	10.00	78.54	26759	340.71	316.83
2		10.00	78.54	25781	328.25	
3		10.00	78.54	26715	340.15	
4		10.00	78.54	24787	315.60	
5		10.00	78.54	25344	322.69	
6		10.00	78.54	26177	333.30	
7		10.00	78.54	26963	343.30	
8		10.00	78.54	26305	334.93	
10		10.00	78.54	25165	320.41	
11		10.00	78.54	24263	308.93	

N°	Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
12		10.00	78.54	23241	295.91	
14		10.00	78.54	24503	311.98	
15		10.00	78.54	22962	292.36	
16		10.00	78.54	24018	305.81	
17		10.00	78.54	24809	315.88	
18		10.00	78.54	25052	318.97	
19		10.00	78.54	24013	305.74	
20		10.00	78.54	24661	313.99	
21		10.00	78.54	24756	315.20	
22		10.00	78.54	24800	315.76	
23		10.00	78.54	23974	305.25	
24		10.00	78.54	24359	310.15	
25		10.00	78.54	24547	312.54	
27		10.00	78.54	23646	301.07	
28		10.00	78.54	24756.2	315.21	
29		10.00	78.54	24750.6	315.13	
30		10.00	78.54	24762.6	315.29	

Tiempo (días)	Resistencia (kg/cm ²)
7	248.28
28	316.83

Resistencia a la tracción por compresión diametral.

Concreto patrón.

Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7 días	9.85	20.55	7982.50	25.11	22.67
	9.95	20.50	7027.10	21.93	
	9.90	20.60	6717.90	20.97	
28 días	10.00	20.55	8235.00	25.51	26.17
	10.00	20.50	8329.00	25.87	
	10.00	20.50	8737.00	27.13	

Fibra ultrafina 200 g/m³

Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7 días	9.90	20.50	6369.80	19.98	20.41
	9.90	20.55	6549.40	20.49	
	10.00	20.65	6729.00	20.74	
28 días	10.00	20.55	10076	31.21	30.63
	10.00	20.55	9365	29.01	
	10.00	20.55	10219	31.66	

Fibra ultrafina 300 g/m³

Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7 días	10.10	20.60	5600.00	17.13	16.80
	10.10	20.65	4500.00	13.74	
	10.00	20.55	6300.00	19.52	
28 días	10.00	20.55	8115	25.14	23.57
	10.00	20.55	6239	19.33	
	10.00	20.55	8469	26.24	

Fibra ultrafina 400 g/m³

Tiempo (días)	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Carga (kg)	Tracción (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
7 días	10.05	20.50	7085.80	21.90	24.43
	10.00	20.50	8432.80	26.19	
	10.00	20.50	8113.50	25.20	
28 días	10.00	20.50	10721	33.29	27.75
	10.00	20.50	8935	27.75	
	10.00	20.50	7152	22.21	

Módulo elástico estático.

Concreto patrón.

Muestra M1

Fuerza (Kg)	LECTURA			DEFORMACIÓN		Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación unitaria (cm/cm*10 ⁻⁴)
	Lectura Dial 1 (10 ⁻³ mm)	Lectura Dial 2 (10 ⁻³ mm)	Lectura Dial 3 (10 ⁻³ mm)	Promedio (mm)	Promedio (cm)		
0	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0	0.00000
2000	19.00	20.00	19.00	0.00967	0.00097	11.17	0.31694
4000	31.00	34.00	34.00	0.01650	0.00165	22.34	0.54098
6000	52.00	54.00	56.00	0.02700	0.00270	33.50	0.88525
8000	73.00	77.00	79.00	0.03817	0.00382	44.67	1.25137
10000	96.00	99.00	100.00	0.04917	0.00492	55.84	1.61202
12000	120.00	120.00	122.00	0.06033	0.00603	67.01	1.97814
14000	148.00	147.00	146.00	0.07350	0.00735	78.18	2.40984
16000	176.00	169.00	169.00	0.08567	0.00857	89.35	2.80874
18000	207.00	192.00	192.00	0.09850	0.00985	100.51	3.22951
20000	240.00	216.00	216.00	0.11200	0.01120	111.68	3.67213
22000	273.00	242.00	239.00	0.12567	0.01257	122.85	4.12022

D prom= 15.1 cm f'c= 266.81 kg/cm2
L prom= 30.50 cm 0.4f'c= 106.72 kg/cm2

$$E = \frac{S_2 - S_1}{(\varepsilon_2 - 0.00005)}$$

Donde:

E= Módulo de elasticidad secante, en kg/cm2

S₂= Esfuerzo correspondiente al 40% de f'c, en kg/cm2

S₁= Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria, ε₁, de 5x10⁻⁵, en kg/cm2

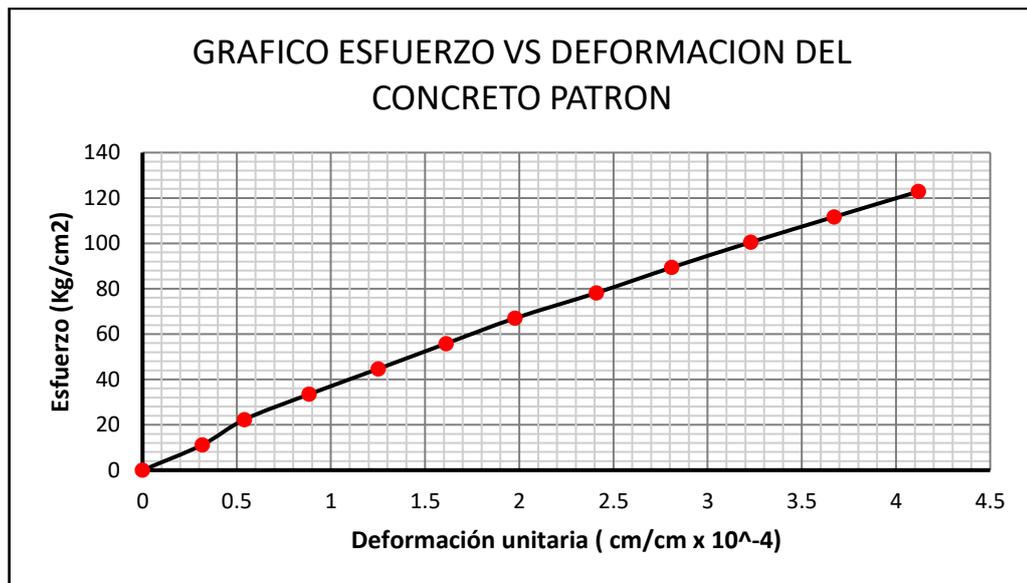
ε₂ = Deformación unitaria producida por el esfuerzo S₂

Esfuerzo	Deformación unitaria (10 ⁻⁴)
11.17	0.317
S1	0.500
22.34	0.541

Esfuerzo	Deformación unitaria(10 ⁻⁴)
100.51	3.230
106.72	e2
111.68	3.672

S2	106.72	kg/cm ²
S1	20.2935785	kg/cm ²
e2	0.00035	cm/cm
e1	0.00005	cm/cm

E= 290464.131 kg/cm²



Muestra M2

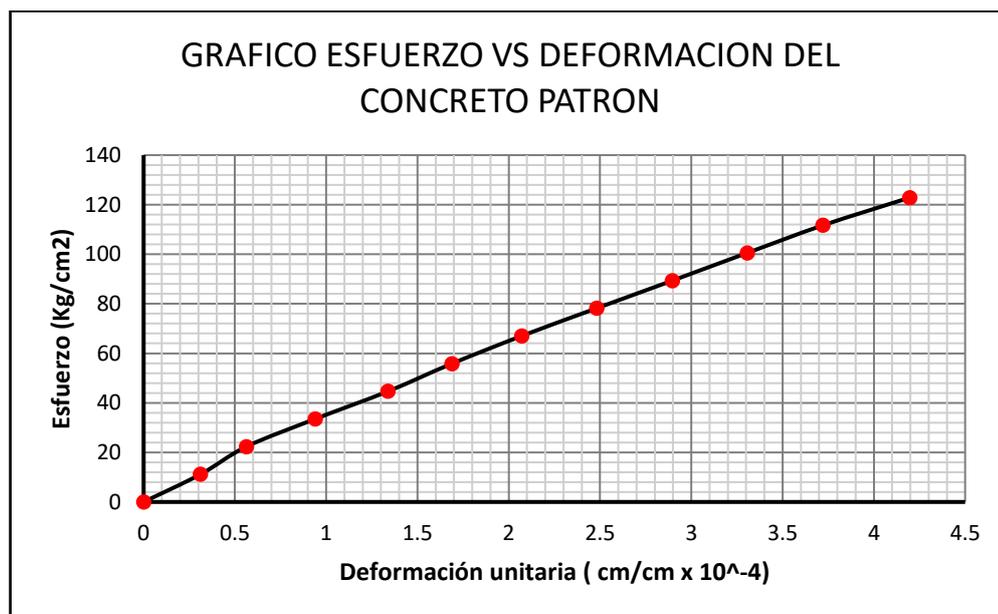
Fuerza (Kg)	LECTURA			DEFORMACIÓN		Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deformación unitaria (cm/cm*10 ⁻⁴)
	Lectura Dial 1 (10 ⁻³ mm)	Lectura Dial 2 (10 ⁻³ mm)	Lectura Dial 3 (10 ⁻³ mm)	Promedio (mm)	Promedio (cm)		
0	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0	0.00000
2000	19.00	19.00	19.00	0.00950	0.00095	11.09	0.31097
4000	36.00	33.00	34.00	0.01717	0.00172	22.19	0.56192
6000	58.00	57.00	57.00	0.02867	0.00287	33.28	0.93835
8000	85.00	79.00	81.00	0.04083	0.00408	44.38	1.33661
10000	106.00	100.00	103.00	0.05150	0.00515	55.47	1.68576
12000	134.00	122.00	123.00	0.06317	0.00632	66.57	2.06765
14000	161.00	146.00	147.00	0.07567	0.00757	77.66	2.47681
16000	190.00	170.00	170.00	0.08833	0.00883	88.76	2.89143
18000	218.00	193.00	194.00	0.10083	0.01008	99.85	3.30060
20000	246.00	218.00	217.00	0.11350	0.01135	110.95	3.71522
22000	279.00	246.00	243.00	0.12800	0.01280	122.04	4.18985

D prom= 15.15 cm f'c= 266.81 kg/cm²
 L prom= 30.55 cm 0.4f'c= 106.72 kg/cm²

Esfuerzo	Deformación unitaria (10 ⁻⁴)
11.09	0.311
S1	0.500
22.19	0.562

Esfuerzo	Deformación unitaria (10 ⁻⁴)
99.85	3.301
106.72	e2
110.95	3.715

E= 285444.975 kg/cm²



Fibra ultrafina 200 g/m³

Muestra M1

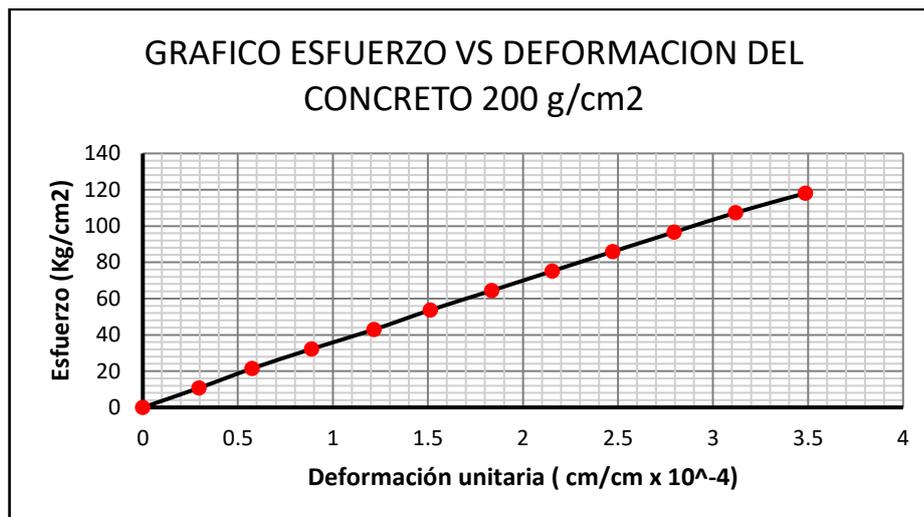
Fuerza (Kg)	LECTURA			DEFORMACIÓN		Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deformación unitaria (cm/cm*10 ⁻⁴)
	Lectura Dial 1 (10 ⁻³ mm)	Lectura Dial 2 (10 ⁻³ mm)	Lectura Dial 3 (10 ⁻³ mm)	Promedio (mm)	Promedio (cm)		
0	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0	0.00000
2000	19.00	18.00	17.00	0.00900	0.00090	10.74	0.29605
4000	34.00	36.00	35.00	0.01750	0.00175	21.47	0.57566
6000	53.00	55.00	54.00	0.02700	0.00270	32.21	0.88816
8000	72.00	75.00	75.00	0.03700	0.00370	42.95	1.21711
10000	88.00	94.00	94.00	0.04600	0.00460	53.69	1.51316
12000	107.00	114.00	114.00	0.05583	0.00558	64.42	1.83662
14000	128.00	132.00	133.00	0.06550	0.00655	75.16	2.15461
16000	146.00	153.00	152.00	0.07517	0.00752	85.90	2.47259
18000	166.00	172.00	172.00	0.08500	0.00850	96.64	2.79605
20000	187.00	191.00	191.00	0.09483	0.00948	107.37	3.11952
22000	212.00	211.00	213.00	0.10600	0.01060	118.11	3.48684

D prom= 15.4 cm f'c= 316.71 kg/cm²
L prom= 30.40 cm 0.4f'c= 126.69 kg/cm²

Esfuerzo	Deformación unitaria (10 ⁻⁴)
10.74	0.296
S1	0.500
21.47	0.576

Esfuerzo	Deformación unitaria (10 ⁻⁴)
107.37	3.120
126.69	e2
118.11	3.487

E= 329605.765 kg/cm²



Muestra M2

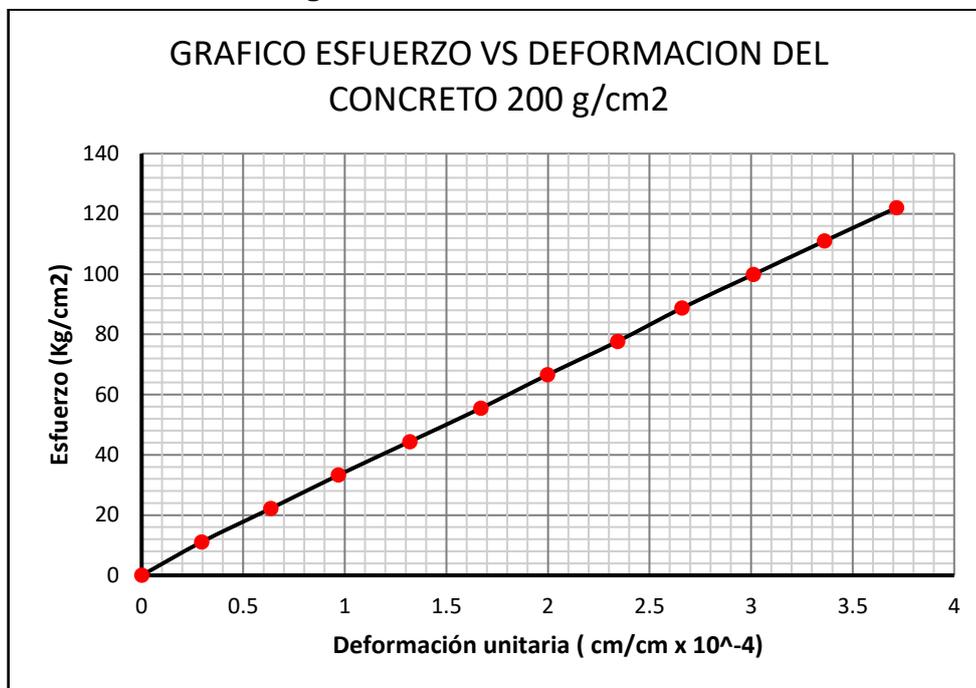
Fuerza (Kg)	LECTURA			DEFORMACIÓN		Esfuerzo (Kg/cm2)	Deformación unitaria (cm/cm*10^-4)
	Lectura Dial 1 (10^-3mm)	Lectura Dial 2 (10^-3mm)	Lectura Dial 3 (10^-3mm)	Promedio (mm)	Promedio (cm)		
0	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0	0.00000
2000	17.00	18.00	19.00	0.00900	0.00090	11.09	0.29557
4000	39.00	38.00	39.00	0.01933	0.00193	22.19	0.63492
6000	57.00	59.00	61.00	0.02950	0.00295	33.28	0.96880
8000	80.00	80.00	81.00	0.04017	0.00402	44.38	1.31910
10000	100.00	101.00	104.00	0.05083	0.00508	55.47	1.66940
12000	119.00	122.00	124.00	0.06083	0.00608	66.57	1.99781
14000	138.00	144.00	146.00	0.07133	0.00713	77.66	2.34264
16000	157.00	163.00	166.00	0.08100	0.00810	88.76	2.66010
18000	179.00	183.00	188.00	0.09167	0.00917	99.85	3.01040
20000	203.00	204.00	207.00	0.10233	0.01023	110.95	3.36070
22000	226.00	226.00	227.00	0.11317	0.01132	122.04	3.71648

D prom= 15.15 cm f'c= 316.71 kg/cm2
L prom= 30.45 cm 0.4f'c= 126.69 kg/cm2

Esfuerzo	Deformación unitaria (10^-4)
11.09	0.296
S1	0.500
22.19	0.635

Esfuerzo	Deformación unitaria (10^{-4})
110.95	3.361
126.69	e2
122.04	3.716

E= 323608.8864 kg/cm²



Fibra ultrafina 300 g/m³

Muestra M1

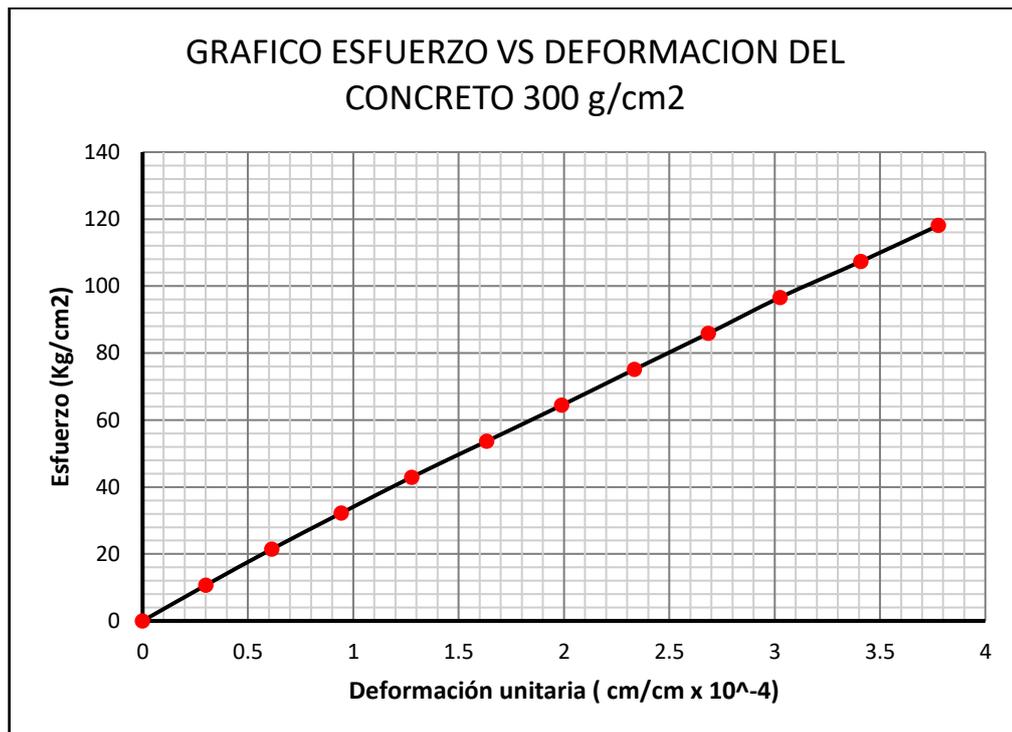
Fuerza (Kg)	LECTURA			DEFORMACIÓN		Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deformación unitaria (cm/cm*10 ⁻⁴)
	Lectura Dial 1 (10 ⁻³ mm)	Lectura Dial 2 (10 ⁻³ mm)	Lectura Dial 3 (10 ⁻³ mm)	Promedio (mm)	Promedio (cm)		
0	0.00	0	0.00	0.00000	0.00000	0	0.00000
2000	17.00	20	18.00	0.00917	0.00092	10.81	0.29908
4000	36.00	39	37.00	0.01867	0.00187	21.61	0.60903
6000	55.00	60	57.00	0.02867	0.00287	32.42	0.93529
8000	74.00	81	78.00	0.03883	0.00388	43.23	1.26699
10000	95.00	103	100.00	0.04967	0.00497	54.04	1.62045
12000	116.00	124	123.00	0.06050	0.00605	64.84	1.97390
14000	137.00	146	143.00	0.07100	0.00710	75.65	2.31648
16000	160.00	165	165.00	0.08167	0.00817	86.46	2.66449
18000	182.00	184	186.00	0.09200	0.00920	97.27	3.00163
20000	208.00	207	207.00	0.10367	0.01037	108.07	3.38227
22000	232.00	229	228.00	0.11483	0.01148	118.88	3.74660

D prom= 15.35 cm f'c= 329.06 kg/cm²
 L prom= 30.65 cm 0.4f'c= 131.62 kg/cm²

Esfuerzo	Deformación unitaria (10 ⁻⁴)
10.81	0.299
S1	0.500
21.61	0.609

Esfuerzo	Deformación unitaria (10 ⁻⁴)
108.07	3.382
131.62	e2
118.88	3.747

E= 309592.3261 kg/cm²



Muestra M2

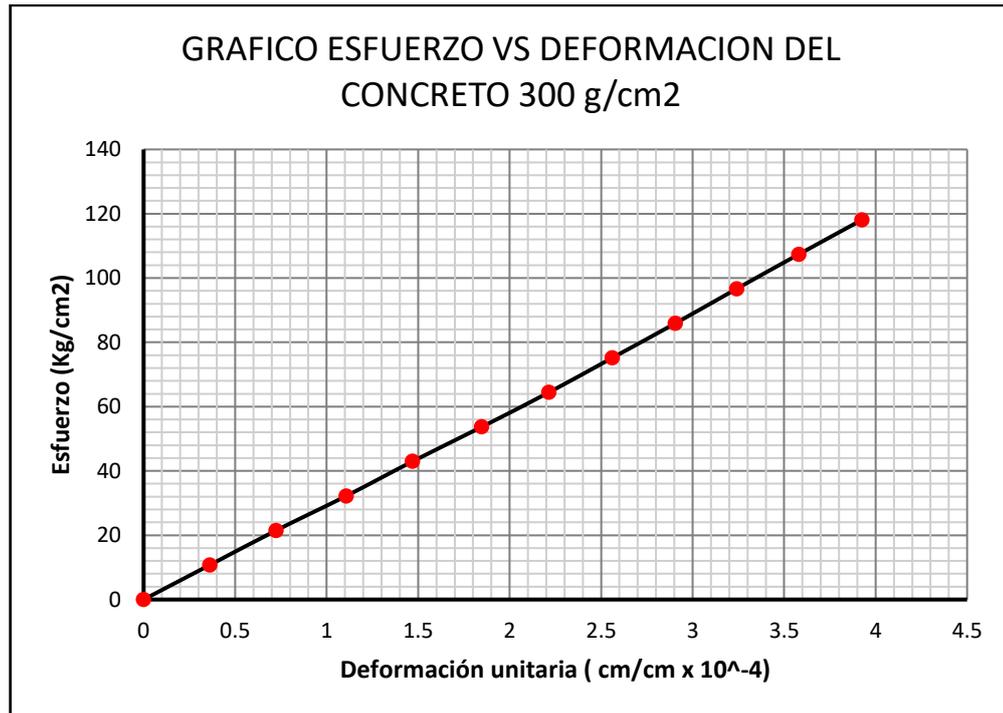
Fuerza (Kg)	LECTURA			DEFORMACIÓN		Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deformación unitaria (cm/cm*10 ⁻⁴)
	Lectura Dial 1 (10 ⁻³ mm)	Lectura Dial 2 (10 ⁻³ mm)	Lectura Dial 3 (10 ⁻³ mm)	Promedio (mm)	Promedio (cm)		
0	0.00	0	0.00	0.00000	0.00000	0	0.00000
2000	24.00	22	20.00	0.02200	0.00110	10.88	0.36184
4000	46.00	44	42.00	0.04400	0.00220	21.76	0.72368
6000	69.00	67	66.00	0.06733	0.00337	32.63	1.10746
8000	91.00	89	88.00	0.08933	0.00447	43.51	1.46930
10000	114.00	112	111.00	0.11233	0.00562	54.39	1.84759
12000	135.00	136	133.00	0.13467	0.00673	65.27	2.21491
14000	157.00	156	154.00	0.15567	0.00778	76.15	2.56031
16000	179.00	177	174.00	0.17667	0.00883	87.03	2.90570
18000	199.00	197	195.00	0.19700	0.00985	97.90	3.24013
20000	220.00	217	216.00	0.21767	0.01088	108.78	3.58004
22000	242.00	238	236.00	0.23867	0.01193	119.66	3.92544

D prom= 15.3 cm f'c= 329.06 kg/cm²
L prom= 30.40 cm 0.4f'c= 131.62 kg/cm²

Esfuerzo	Deformación unitaria (10 ⁻⁴)
10.88	0.362
S1	0.500
21.76	0.724

Esfuerzo	Deformación unitaria (10 ⁻⁴)
108.78	3.580
131.62	e2
119.66	3.925

E= 306394.4995 kg/cm²



Fibra ultrafina 400 g/m³

Muestra M1

Fuerza (Kg)	LECTURA			DEFORMACIÓN		Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deformación unitaria (cm/cm*10 ⁻⁴)
	Lectura Dial 1 (10 ⁻³ mm)	Lectura Dial 2 (10 ⁻³ mm)	Lectura Dial 3 (10 ⁻³ mm)	Promedio (mm)	Promedio (cm)		
0	0.00	0	0.00	0.00000	0.00000	0	0.00000
2000	17.00	22	22.00	0.02033	0.00102	10.81	0.33388
4000	35.00	41	39.00	0.03833	0.00192	21.61	0.62945
6000	55.00	63	61.00	0.05967	0.00298	32.42	0.97975
8000	74.00	83	84.00	0.08033	0.00402	43.23	1.31910
10000	95.00	105	107.00	0.10233	0.00512	54.04	1.68035
12000	115.00	127	128.00	0.12333	0.00617	64.84	2.02518
14000	137.00	148	147.00	0.14400	0.00720	75.65	2.36453
16000	160.00	167	168.00	0.16500	0.00825	86.46	2.70936
18000	181.00	187	190.00	0.18600	0.00930	97.27	3.05419
20000	207.00	207	208.00	0.20733	0.01037	108.07	3.40449
22000	232.00	230	231.00	0.23100	0.01155	118.88	3.79310

D prom= 15.35 cm

f'c= 316.83 kg/cm²

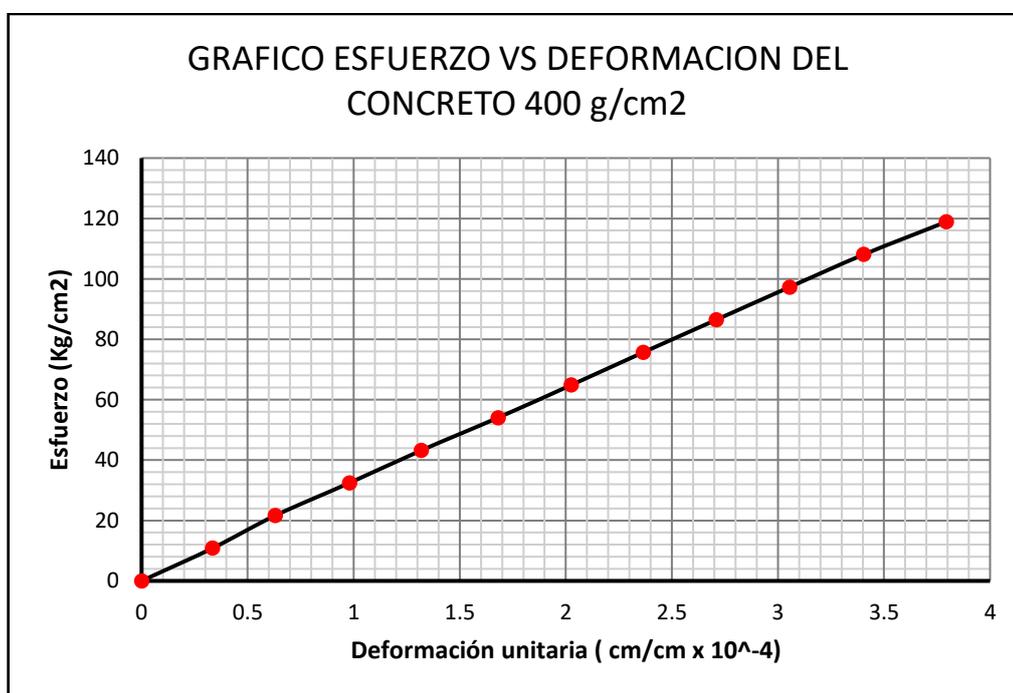
L prom= 30.45 cm

0.4f'c= 126.73 kg/cm²

Esfuerzo	Deformación unitaria (10^{-4})
10.81	0.334
S1	0.500
21.61	0.629

Esfuerzo	Deformación unitaria (10^{-4})
108.07	3.404
126.73	e2
118.88	3.793

E= 307241.0834 kg/cm²



Muestra M2

Fuerza (Kg)	LECTURA			DEFORMACIÓN		Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deformación unitaria (cm/cm* 10^{-4})
	Lectura Dial 1 (10^{-3} mm)	Lectura Dial 2 (10^{-3} mm)	Lectura Dial 3 (10^{-3} mm)	Promedio (mm)	Promedio (cm)		
0	0.00	0	0.00	0.00000	0.00000	0	0.00000
2000	24.00	23	23.00	0.02333	0.00117	10.81	0.38314
4000	44.00	43	44.00	0.04367	0.00218	21.61	0.71702
6000	66.00	66	67.00	0.06633	0.00332	32.42	1.08922
8000	87.00	89	88.00	0.08800	0.00440	43.23	1.44499
10000	109.00	111	112.00	0.11067	0.00553	54.04	1.81719

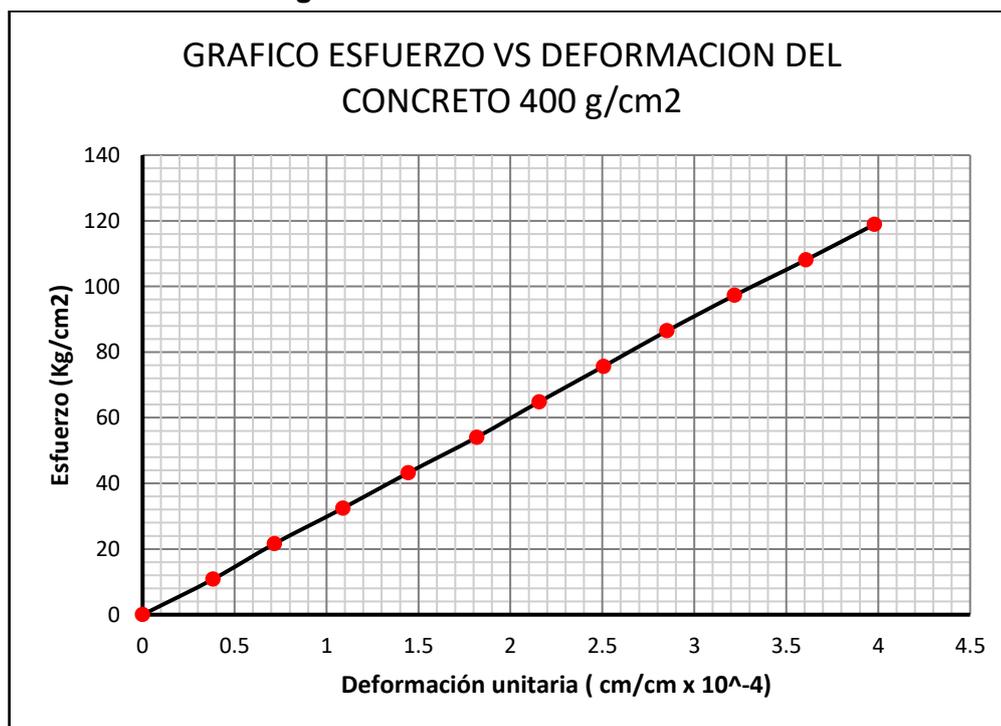
Fuerza (Kg)	LECTURA			DEFORMACIÓN		Esfuerzo (Kg/cm ²)	Deformación unitaria (cm/cm*10 ⁻⁴)
	Lectura Dial 1 (10 ⁻³ mm)	Lectura Dial 2 (10 ⁻³ mm)	Lectura Dial 3 (10 ⁻³ mm)	Promedio (mm)	Promedio (cm)		
12000	129.00	133	132.00	0.13133	0.00657	64.84	2.15654
14000	149.00	155	154.00	0.15267	0.00763	75.65	2.50684
16000	171.00	175	175.00	0.17367	0.00868	86.46	2.85167
18000	194.00	197	197.00	0.19600	0.00980	97.27	3.21839
20000	220.00	218	221.00	0.21967	0.01098	108.07	3.60701
22000	243.00	241	243.00	0.24233	0.01212	118.88	3.97920

D prom= 15.35 cm f'c= 316.83 kg/cm²
L prom= 30.45 cm 0.4f'c= 126.73 kg/cm²

Esfuerzo	Deformación unitaria (10 ⁻⁴)
10.81	0.383
S1	0.500
21.61	0.717

Esfuerzo	Deformación unitaria (10 ⁻⁴)
108.07	3.607
126.73	e2
118.88	3.979

E= 299081.3089 kg/cm²



Resumen

Tipo de concreto	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)
Concreto patrón	287954.55
Concreto con fibra ultrafina 200g	326607.33
Concreto con fibra ultrafina 300g	307993.41
Concreto con fibra ultrafina 400g	303161.20

E. ENSAYO DE LA CONTRACCIÓN RESTRINGIDA EN EL CONCRETO

Contracción restringida.

Concreto patrón.

Muestra M1

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	38.1	0.2
FS2	23.5	0.1
FS3	27	0.1
FS4	25.5	0.2
FS5	38.1	0.2
FS6	16	0.05
FS7	11	0.1
promedio	25.6	0.14

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	38.1	0.2
FL2	23.5	0.1
FL3	27	0.1
FL4	25.5	0.2
FL5	38.1	0.2
promedio	30.44	0.16

Muestra M2

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	22	0.2
FS2	38.1	0.2
FS3	7	0.07
FS4	31	0.07
FS5	38.1	0.2
FS6	20	0.03
FS7	24.5	0.2
Promedio	25.81	0.14

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	22.5	0.2
FL2	67.5	0.2
FL3	24	0.07
FL4	65	0.1
FL5	38	0.2
FL6	35	0.2
FL7	40	0.2
promedio	41.71	0.17

Muestra M3

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	38.1	0.2
FS2	35	0.1
FS3	23	0.07
FS4	17	0.07
FS5	10	0.05
promedio	24.62	0.10

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	40	0.2
FL2	27	0.2
FL3	32	0.1
promedio	33	0.17

Muestra M4

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	22	0.2
FS2	11	0.1
FS3	36	0.2
FS4	25	0.1
FS5	12	0.07
FS6	10	0.05
FS7	25	0.4
FS8	10	0.1
FS9	16	0.1
FS10	23.5	0.3
FS11	21	0.1

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS12	13	0.4
FS13	23	0.5
FS14	15	0.1
FS15	20	0.1
FS16	33	0.4
FS17	16	0.07
FS18	12	0.1
promedio	19.08	0.19

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	17	0.2
FL2	10	0.07
FL3	18	0.07
FL4	10	0.07
FL5	19	0.07
FL6	21	0.1
FL7	12	0.05
FL8	20	0.1
FL9	15	0.07
FL10	10	0.05
FL11	20	0.3
FL12	25	0.2
FL13	22	0.2
FL14	11	0.1
FL15	10	0.05
FL16	17	0.1
FL17	10	0.1
FL18	12	0.2
FL19	14	0.4
FL20	11	0.2
FL21	27	0.1
FL22	16	0.1
FL23	17	0.2
FL24	17	0.1
promedio	15.88	0.13

Muestra M5

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	33.5	0.3
FS2	11	0.1
FS3	13	0.05
FS4	11	0.05
FS5	12	0.03
FS6	9	0.05
FS7	21	0.07
FS8	10	0.03
FS9	20	0.5
FS10	25	0.75
FS11	15	0.07
FS12	19	0.2
FS13	25	0.2
FS14	10	0.2
promedio	16.75	0.19

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	40	0.3
FL2	10	0.1
FL3	23	0.1
FL4	14	0.07
FL5	20	0.07
FL6	11	0.1
FL7	14	0.4
FL8	33	0.75
FL9	26	0.5
FL10	31	0.2
FL11	20	0.2
FL12	25	0.1
FL13	18	0.2
FL14	17	0.2
FL15	8	0.1
FL16	15	0.2
FL17	19	0.2
FL18	21	0.5
FL19	30	0.75
FL20	40	0.3
FL21	12	0.2
FL22	21	0.1
FL23	32	0.3
FL24	30	0.3

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL25	37	0.2
promedio	22.68	0.26

Resumen.

Muestra	Fisura superficial		Fisura lateral	
	Long (mm)	ancho (mm)	Long (mm)	ancho (mm)
M1	25.60	0.14	30.44	0.16
M2	25.81	0.14	41.71	0.17
M3	24.62	0.10	33.00	0.17
M4	19.08	0.19	15.88	0.13
M5	16.75	0.19	22.68	0.26

Muestra	Cantidad de fisuras		Temperatura promedio (°C)
	Superficial	Lateral	
M1	7.0	5.0	22°C
M2	7.0	7.0	22°C
M3	5.0	3.0	22°C
M4	18.0	24.0	25°C
M5	14.0	25.0	25°C

Concreto con fibra ultrafina 200 g/m³.

Muestra M1

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	26	0.1
FS2	9	0.1
FS3	36	0.2
FS4	36	0.2
promedio	26.75	0.15

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	28	0.1
FL2	26	0.2
FL3	21	0.2
FL4	22	0.1
FL5	28	0.2
promedio	25	0.16

Muestra M2

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	21	0.1
FS2	22	0.1
FS3	14	0.07
FS4	13	0.07
FS5	29	0.2
FS6	27	0.1
FS7	11	0.05
promedio	19.57	0.10

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	15	0.1
FL2	12	0.1
FL3	40	0.07
FL4	24	0.07
FL5	30	0.05
FL6	25	0.2
FL7	18	0.1
FL8	20	0.05
FL9	20	0.1
promedio	22.67	0.09

Muestra M3

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	22	0.1
FS2	15	0.2
FS3	20	0.1
FS4	12	0.1
FS5	29	0.3
FS6	18	0.07
promedio	19.33	0.15

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	17	0.2
FL2	10	0.07
FL3	30	0.2
FL4	40	0.2
FL5	20	0.1
FL6	18	0.1
FL7	12	0.1

FL8	20	0.1
promedio	20.88	0.13

Muestra M4

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	20	0.2
FS2	9	0.2
FS3	10	0.07
FS4	5	0.03
FS5	5	0.07
FS6	26	0.1
FS7	8	0.1
FS8	13	0.03
FS9	7	0.03
promedio	11.44	0.09

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	14	0.3
FL2	17	0.2
FL3	19	0.1
FL4	25	0.07
FL5	12	0.05
FL6	25	0.1
FL7	16	0.05
FL8	13	0.03
FL9	10	0.05
FL10	22	0.05
FL11	16	0.05
FL12	10	0.05
FL13	16	0.03
promedio	16.54	0.09

Muestra M5

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	34	0.2
FS2	9	0.03
FS3	6	0.03
FS4	20	0.07
FS5	23	0.1
FS6	12	0.2
FS7	8	0.03
FS8	17	0.1

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS9	15	0.07
FS10	20	0.07
FS11	7	0.05
FS12	7	0.07
promedio	14.83	0.09

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	25	0.1
FL2	16	0.07
FL3	17	0.1
FL4	17	0.07
FL5	12	0.05
FL6	18	0.07
FL7	13	0.05
FL8	14	0.05
FL9	15	0.03
FL10	20	0.05
promedio	16.70	0.06

Resumen.

Muestra	Fisura superficial		Fisura lateral	
	Long (mm)	ancho (mm)	Long (mm)	ancho (mm)
M1	26.75	0.15	25.00	0.16
M2	19.57	0.10	22.67	0.09
M3	19.33	0.15	20.88	0.13
M4	11.44	0.09	16.54	0.09
M5	14.83	0.09	16.70	0.06

Muestra	Cantidad de fisuras		Temperatura promedio (°C)
	Superficial	Lateral	
M1	4.0	5.0	23.5°C
M2	7.0	9.0	23.5°C
M3	6.0	8.0	23.5°C
M4	9.0	13.0	27.5°C
M5	12.0	10.0	27.5°C

Concreto con fibra ultrafina 300 g/m³.

Muestra M1

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	36	0.75
FS2	30	0.2
FS3	10	0.05
FS4	11	0.1
FS5	16	0.2
FS6	29	0.1
FS7	30	0.05
FS8	16	0.2
FS9	10	0.07
FS10	18	0.07
FS11	7	0.05
promedio	19.36	0.17

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	35	0.5
FL2	14	0.3
FL3	40	0.2
FL4	23	0.2
FL5	27	0.1
FL6	33	0.3
FL7	22	0.2
FL8	32	0.2
FL9	26	0.2
promedio	28	0.24

Muestra M2

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	32	0.5
FS2	13	0.1
FS3	18	0.2
FS4	16	0.07
FS5	18	0.07
FS6	17	0.05
FS7	34	0.2
FS8	13	0.03
promedio	20.13	0.15

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	22	0.5
FL2	10	0.3
FL3	22	0.2
FL4	16	0.07
FL5	24	0.05
FL6	11	0.05
FL7	21	0.1
FL8	15	0.1
FL9	5	0.1
FL10	13	0.07
promedio	15.90	0.15

Muestra M3

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	10	0.1
FS2	13	0.1
FS3	23	0.07
FS4	15	0.03
FS5	10	0.03
promedio	14.20	0.07

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	9	0.03
FL2	17	0.2
FL3	15	0.05
FL4	33	0.07
FL5	17	0.05
FL6	16	0.07
FL7	12	0.05
FL8	10	0.1
FL9	17	0.03
promedio	16.22	0.07

Muestra M4

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	14	0.1
FS2	9	0.1
FS3	16	0.2
FS4	14	0.1
FS5	13	0.07

FS6	6	0.03
promedio	12	0.1

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	21	0.2
FL2	15	0.2
FL3	12	0.07
FL4	22	0.2
FL5	11	0.1
FL6	12	0.07
FL7	12	0.05
FL8	26	0.1
FL9	12	0.2
FL10	10	0.03
FL11	11	0.03
promedio	14.91	0.11

Muestra M5

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	35	0.3
FS2	20	0.07
FS3	7	0.05
FS4	15	0.03
FS5	16	0.03
FS6	8	0.05
FS7	12	0.03
promedio	16.14	0.08

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	21	0.3
FL2	20	0.3
FL3	11	0.2
FL4	4	0.3
FL5	18	0.3
FL6	18	0.2
FL7	12	0.07
FL8	25	0.1
FL9	40	0.07

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL10	25	0.1
FL11	24	0.1
FL12	13	0.1
FL13	14	0.07
FL14	17	0.07
FL15	21	0.1
FL16	20	0.3
FL17	15	0.2
FL18	15	0.2
FL19	11	0.1
FL20	17	0.07
FL21	21	0.03
promedio	18.19	0.16

Resumen.

Muestra	Fisura superficial		Fisura lateral	
	Long (mm)	ancho (mm)	Long (mm)	ancho (mm)
M1	19.36	0.17	28.00	0.24
M2	20.13	0.15	15.90	0.15
M3	14.20	0.07	16.22	0.07
M4	12.00	0.10	14.91	0.11
M5	16.14	0.08	18.19	0.16

Muestra	Cantidad de fisuras		Temperatura promedio (°C)
	Superficial	Lateral	
M1	11.0	9.0	25°C
M2	8.0	10.0	25°C
M3	5.0	9.0	25°C
M4	6.0	11.0	27°C
M5	7.0	21.0	27°C

Concreto con fibra ultrafina 400 g/m³.

Muestra M1

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	30	0.3
FS2	7	0.03
promedio	18.5	0.17

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	25	0.4
FL2	26	0.2
FL3	14	0.1
FL4	26	0.07
FL5	25	0.07
promedio	23.20	0.17

Muestra M2

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	8	0.1
FS2	9	0.2
FS3	9	0.2
FS4	19	0.1
FS5	21	0.2
FS6	13	0.07
promedio	13.17	0.15

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	24	0.3
FL2	34	0.1
FL3	22	0.1
FL4	10	0.03
promedio	22.50	0.13

Muestra M3

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	25	0.03
FS2	25	0.3
FS3	18	0.1
FS4	10	0.03
promedio	19.50	0.12

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	20	0.07
FL2	27	0.1
FL3	17	0.1
FL4	11	0.07
promedio	18.75	0.09

Muestra M4

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	18	0.1
FS2	6	0.07
FS3	21	0.05
promedio	15	0.07

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	22	0.07
FL2	32	0.1
FL3	12	0.07
promedio	22.00	0.08

Muestra M5

Fisura superficial	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FS1	9	0.03
promedio	9	0.03

Fisura lateral	Longitud (mm)	Ancho (mm)
FL1	15	0.05
promedio	15	0.05

Resumen

Muestra	FISURA SUPERFICIAL		FISURA LATERAL	
	Long (mm)	ancho (mm)	Long (mm)	ancho (mm)
M1	18.50	0.17	23.20	0.17
M2	13.17	0.15	22.50	0.13
M3	19.50	0.12	18.75	0.09
M4	15.00	0.07	22.00	0.08
M5	9.00	0.03	15.00	0.05

Muestra	CANTIDAD DE FISURAS		Temperatura promedio (°C)
	Superficial	Lateral	
M1	2.0	5.0	25°C
M2	6.0	4.0	25°C
M3	4.0	4.0	25°C
M4	3.0	3.0	27°C
M5	1.0	1.0	27°C

F. PANEL FOTOGRÁFICO



Figura N°F.0.1. Agregado grueso (izquierda) agregado fino (derecha)



Figura N°F.0.2. Horno usado para secar los agregados



Figura N°F.0.3. Granulometría del agregado grueso.



Figura N°F.0.4. PUS (izquierda) y PUC (derecha) del agregado fino



Figura N° F.0.5. Saturado del agregado grueso para el ensayo del peso específico.



Figura N° F.0.6. Agregado fino en condición saturada



Figura N° F.0.7. Ensayo para determinar la condición saturada superficialmente seca de la arena



Figura N° F.0.8. Ensayo de peso específico del agregado fino.



Figura N° F.0.9. Preparación del concreto fresco.



Figura N° F.0.10. Preparación del concreto con fibra ultrafina



Figura N° F.0.11. Ensayo de asentamiento (izquierda) y ensayo de peso unitario (derecha).



Figura N° F.0.12. Ensayo de fluidez del concreto



Figura N° F.0.13. Ensayo del contenido de aire con olla Washington.



Figura N° F.0.14. Ensayo del contenido de aire con olla Washington.



Figura N° F.0.15. Ensayo de exudación.



Figura N° F.0.16. Ensayo del tiempo de fragua.



Figura N° F.0.17. Elaboración y curado de probetas y anillos de contracción.



Figura N° F.0.18. Ensayo de la resistencia a la compresión.



Figura N° F.0.19. Montaje del equipo para el ensayo del módulo elástico.

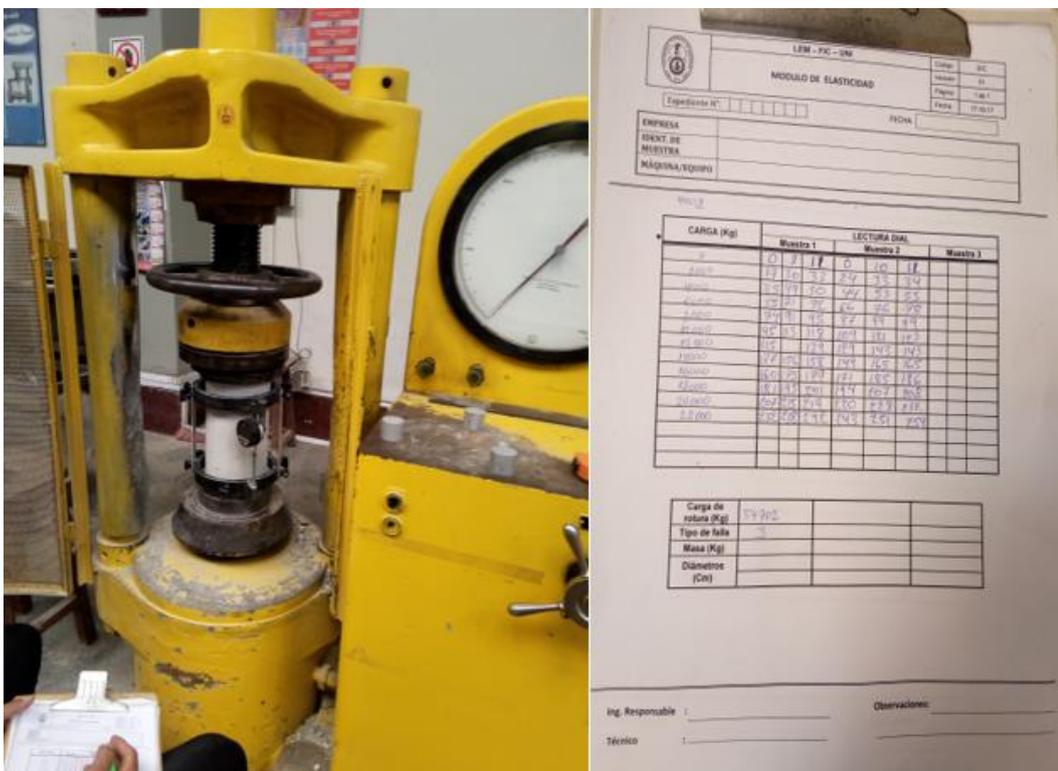


Figura N° F.0.20. Ensayo del módulo elástico.



Figura N°F.0.21. Llenado del molde de anillo de contracción restringida.



Figura N° F.0.22. Llenado y traslado de los moldes de anillo de contracción a la azotea de LEM.



Figura N° F.0.23. Exposición al Sol de los moldes de anillo de contracción.



Figura N° F.0.24. Desmoldado y curado de los especímenes del anillo de contracción.



Figura N° F.0.25. Conteo de fisuras superficiales



Figura N°F.0.26. Conteo de fisuras laterales.



Figura N° F.0.27. Medición y visualización de fisuras superficiales y laterales.

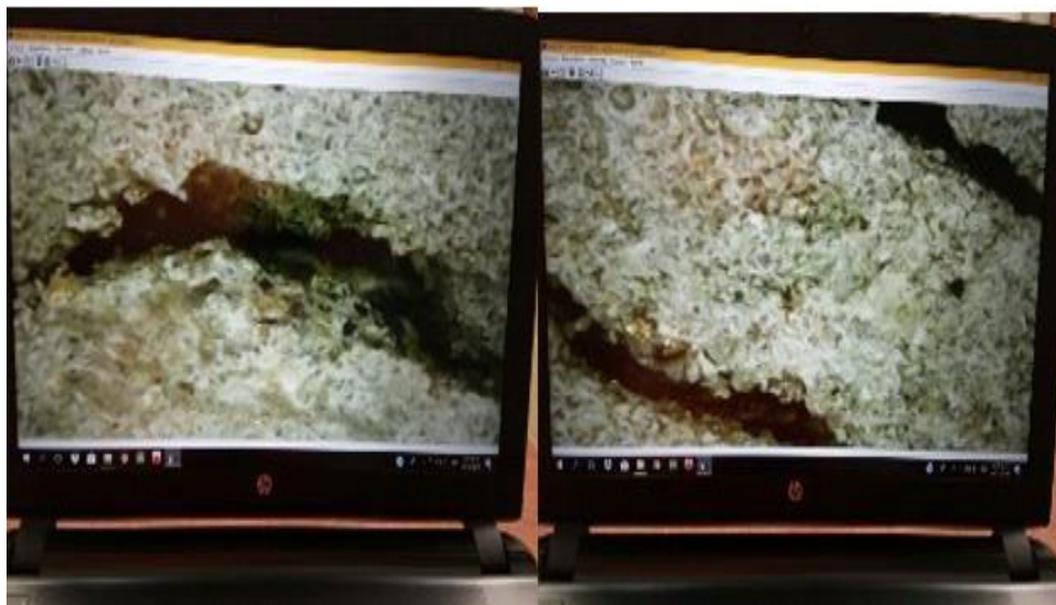


Figura N° F.0.28. Fisuras superficial y lateral del concreto captada con el microscopio AMCap



Figura N° F.0.29. Fisura superficial del concreto con fibra ultrafina 400 g/m³, captada con el microscopio AMCap

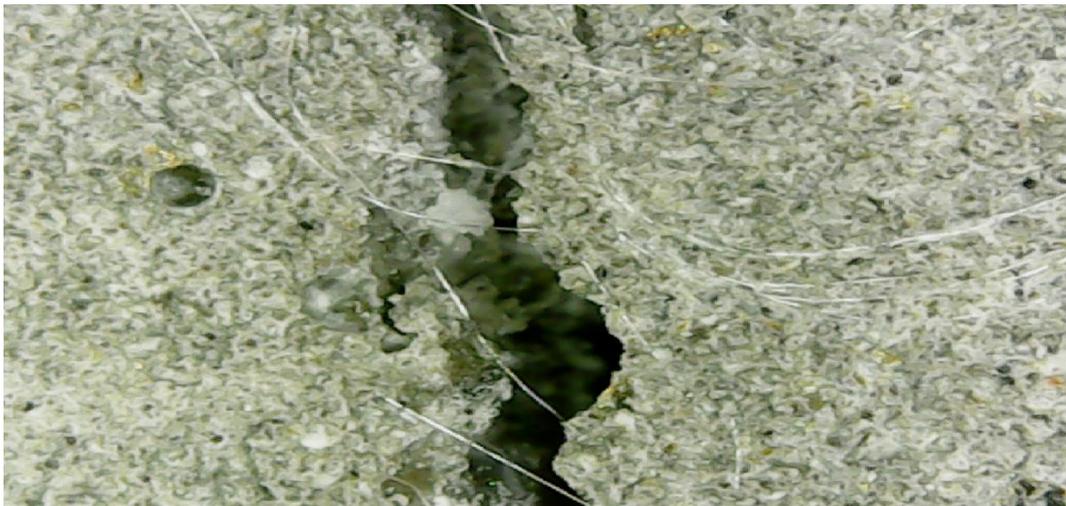


Figura N° F.0.30. Fisura lateral del concreto con fibra ultrafina 400 g/m³, captada con el microscopio AMCap