

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE UN CONCRETO $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$
AL ADICIONAR SIKAFIBER® 1225 PPM Y FIBRA ZPP EN COMPARACIÓN CON EL
CONCRETO TRADICIONAL”

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. EDWIN CARLOS TORRES PALACIOS

ASESOR:

Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

CAJAMARCA – PERÚ

2026

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. **Investigador:** EDWIN CARLOS TORRES PALACIOS

DNI: 75057522

Escuela Profesional: INGENIERÍA CIVIL

2. **Asesor:** Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO

Facultad: DE INGENIERÍA

3. **Grado académico o título profesional**

☐ Bachiller

☒ Título profesional

☐ Segunda especialidad

☐ Maestro

☐ Doctor

4. **Tipo de Investigación:**

☒ Tesis

☐ Trabajo de investigación

☐ Trabajo de suficiencia profesional

☐ Trabajo académico

5. **Título de Trabajo de Investigación:**

"VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE UN CONCRETO $f'_c=210$ kg/cm² AL ADICIONAR SIKAFIBER® 1225 PPM Y FIBRA ZPP EN COMPARACIÓN CON EL CONCRETO TRADICIONAL"

6. **Fecha de evaluación:** 19/02/2026

7. **Software antiplagio:**

☒ TURNITIN

☐ URKUND (OURIGINAL) (*)

8. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 23%

9. **Código Documento:** Oid: 3117:558766303

10. **Resultado de la Evaluación de Similitud:**

☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 19/02/2026



FIRMA DEL ASESOR

Dr. Ing. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO
DNI: 26733060



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 19/02/2026 19:50:58-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



Universidad Nacional de Cajamarca

"Norte de la Universidad Peruana"

Fundada por Ley 14015 del 13 de Febrero de 1962

FACULTAD DE INGENIERÍA

Teléf. N° 365976 Anexo N° 1129-1130



SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

ACTA N° 0103-2026

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto en el Art. 035 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería da a conocer que, a los **cinco días del mes de marzo de 2026**, siendo las nueve horas (09:00 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A – Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional de Cajamarca, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Vocal : Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Secretario : Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE UN CONCRETO $f'_c=210$ Kg/cm² AL ADICIONAR SIKAFIBER® 1225 PPM Y FIBRA ZPP EN COMPARACIÓN CON EL CONCRETO TRADICIONAL*, presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil *EDWIN CARLOS TORRES PALACIOS*; asesorado por el Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 5 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 12 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 17 PTS DIECISIETE (En letras)

En consecuencia, se lo declara APROBADO con el calificativo de 17 (DIECISIETE) acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 10:20 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Presidente

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Vocal

Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo.
Secretario

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Asesor

COPYRIGHT © 2026 by
EDWIN CARLOS TORRES PALACIOS

Todos los derechos reservados

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarme y protegerme en todo momento, por brindarme la fortaleza y sabiduría en los diferentes momentos de mi vida.

A mis padres, por su sacrificio, su apoyo constante y por enseñarme que con esfuerzo y disciplina todo es posible. Gracias por ser mi inspiración.

A mi asesor de tesis, el Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno, por su orientación y enseñanzas durante el desarrollo de esta investigación.

A mis familiares y amigos, por sus palabras de aliento y por contribuir a que esta investigación sea posible.

DEDICATORIA

A Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, por guiarme en cada paso de este camino académico y permitirme culminar esta investigación.

A mis queridos padres, Adrian y Elena, cuyo esfuerzo, ejemplo y apoyo incondicional han sido la base de mi formación. Este logro es tan suyo como mío.

Edwin Carlos Torres Palacios

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA.....	iv
CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Formulación del problema	1
1.3. Hipótesis de la investigación.....	2
1.4. Justificación de la investigación.....	2
1.5. Alcances o delimitación de la investigación	2
1.6. Limitaciones	3
1.7. Objetivos	3
1.7.1. Objetivo general.....	3
1.7.2. Objetivos específicos	3
1.8. Descripción del contenido de los capítulos	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes teóricos.....	6
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	6
2.1.2. Antecedentes nacionales	7
2.1.3. Antecedentes locales	8
2.2. Bases teóricas	9

2.2.1.	Concreto	9
2.2.2.	Fibras Sintéticas	32
2.3.	Definición de términos básicos	34
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS		36
3.1.	Ubicación de la investigación	36
3.1.1.	Ubicación geográfica de la investigación	36
3.1.2.	Ubicación geográfica de la cantera de agregados	37
3.2.	Tiempo o época en el que se realizó la investigación	38
3.3.	Metodología	38
3.3.1.	Tipo, nivel, diseño y enfoque de la investigación.....	38
3.3.2.	Variables.....	38
3.3.3.	Población de estudio	38
3.3.4.	Muestra	39
3.3.5.	Unidad de análisis	40
3.3.6.	Unidad de Observación.....	40
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos y presentación de resultados.....	40
3.4.1.	Técnicas	40
3.4.2.	Instrumentos.....	41
3.5.	Equipos y materiales	41
3.5.1.	Equipos	41
3.5.2.	Materiales.....	42
3.6.	Procedimiento de los ensayos de la investigación	43
3.6.1.	Ensayo de propiedades físicas de los agregados.....	43
3.6.2.	Ensayo de la propiedad mecánica del agregado grueso	50
3.6.3.	Diseño de mezcla	50

3.6.4.	Elaboración de muestras de concreto.....	53
3.6.5.	Densidad (Peso unitario) del concreto fresco	54
3.6.6.	Curado de muestras de concreto	55
3.6.7.	Ensayo de resistencia a compresión.....	55
3.6.8.	Ensayo de resistencia a flexión	56
3.7.	Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados	57
3.7.1.	Tratamiento de datos	57
3.7.2.	Análisis de datos	57
3.7.3.	Presentación de resultados	57
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		67
4.1.	Análisis y discusión de resultados de los agregados	67
4.1.1.	Granulometría	67
4.1.2.	Peso unitario de los agregados	67
4.1.3.	Peso específico y absorción	67
4.1.4.	Contenido de humedad	68
4.1.5.	Porcentaje de material fino que pasa el tamiz N°200	68
4.1.6.	Abrasión del agregado grueso.....	68
4.2.	Análisis y discusión de resultado de la mezcla de concreto.....	68
4.3.	Análisis y discusión de resultados del concreto en estado fresco	69
4.3.1.	Asentamiento o slump.....	69
4.3.2.	Peso unitario del concreto en estado fresco	69
4.4.	Análisis y discusión de resultados del concreto en estado endurecido	70
4.4.1.	Peso unitario o densidad del concreto en estado endurecido	70
4.4.2.	Resistencia a la compresión	70
4.4.3.	Resistencia a la flexión	71

4.5. Contratación de la hipótesis planteada	71
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
5.1. Conclusiones	72
5.2. Recomendaciones.....	73
REFERENCIAS.....	74
ANEXOS	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales componentes del cemento portland	10
Tabla 2 Tamices a utilizar para poder realizar el análisis granulométrico	11
Tabla 3 Requisitos granulométricos para el agregado fino	12
Tabla 4 Requisitos granulométricos para el agregado grueso	13
Tabla 5 Límites para sustancias deletéreas en el agregado fino	17
Tabla 6 Límites para sustancias deletéreas en el agregado grueso.....	18
Tabla 7 Número de esferas según la gradación de la muestra de ensayo.....	19
Tabla 8 Gradación de las muestras de ensayo	19
Tabla 9 Resistencias mecánica de los agregados	20
Tabla 10 Capacidad de los recipientes de medición.....	23
Tabla 11 Edades de ensayo y tolerancias permisibles	24
Tabla 12 Número de capas requeridas por espécimen	26
Tabla 13 Coordenadas del laboratorio de ensayo de materiales de la facultad de ingeniería – UNC	36
Tabla 14 Coordenadas de la cantera de agregados provenientes del río Mashcon	37
Tabla 15 Número de muestras.....	40
Tabla 16 Resistencia a compresión de muestras preliminares	52
Tabla 17 Propiedades del agregado fino y grueso.....	58
Tabla 18 Distribución granulométrica del agregado fino - NTP 400.012.....	58
Tabla 19 Distribución granulométrica del agregado grueso - NTP 400.012.....	59
Tabla 20 Materiales para un metro cúbico de concreto.....	59
Tabla 21 Materiales corregidos por humedad para un metro cúbico de concreto.....	59
Tabla 22 Materiales por metro cúbico de concreto patrón y concreto con adición de fibras..	60
Tabla 23 Asentamiento o slump del concreto patrón y con adición de fibras.....	60

Tabla 24 Peso unitario del concreto patrón y con adición de fibras en estado fresco	61
Tabla 25 Peso unitario del concreto patrón y con adición de fibras en estado endurecido	62
Tabla 26 Resistencia a la compresión del concreto patrón y con adición de FIBRA ZPP	63
Tabla 27 Resistencia a la compresión del concreto con adición de SikaFiber® 1225 PPM....	64
Tabla 28 Resistencia a la flexión del concreto patrón y con adición de FIBRA ZPP	65
Tabla 29 Resistencia a la flexión de concreto patrón y con adición de SikaFiber® 1225 PPM.....	66
Tabla 30 Análisis granulométrico del agregado fino - NTP 400.012	77
Tabla 31 Densidad del agua según la temperatura	78
Tabla 32 Volumen de recipiente para peso unitario del agregado fino - NTP 400.017.....	78
Tabla 33 Peso unitario suelto del agregado fino - NTP 400.017.....	78
Tabla 34 Peso unitario compactado del agregado fino - NTP 400.017	79
Tabla 35 Peso específico del agregado fino - NTP 400.022	79
Tabla 36 Porcentaje de absorción del agregado fino - NTP 400.022	79
Tabla 37 Contenido de humedad del agregado fino - NTP 339.185	79
Tabla 38 Porcentaje de material fino en el agregado fino - NTP 400.018	80
Tabla 39 Análisis granulométrico del agregado grueso - NTP 400.012	80
Tabla 40 Volumen de recipiente para peso unitario del agregado grueso	81
Tabla 41 Peso unitario suelto del agregado grueso - NTP 400.017	81
Tabla 42 Peso unitario compactado del agregado grueso - NTP 400.017.....	82
Tabla 43 Peso específico del agregado grueso - NTP 400.021	82
Tabla 44 Porcentaje de absorción del agregado grueso - NTP 400.021	82
Tabla 45 Contenido de humedad del agregado grueso - NTP 339.185.....	82
Tabla 46 Porcentaje de material fino en el agregado grueso - NTP 400.018.....	83
Tabla 47 Resistencia a la degradación en agregado grueso - NTP 400.019.....	83

Tabla 48 Densidad del agua usada en el diseño de mezcla	83
Tabla 49 Volumen del recipiente utilizado para el peso unitario del concreto fresco	90
Tabla 50 Peso unitario del concreto en estado fresco	91
Tabla 51 Peso unitario del concreto en estado endurecido	92
Tabla 52 Resistencia a compresión del concreto patrón	93
Tabla 53 Resistencia a compresión del concreto con adición de 0.4 kg/m ³ de FIBRA ZPP ..	93
Tabla 54 Resistencia a compresión del concreto con adición de 1.2 kg/m ³ de FIBRA ZPP ..	94
Tabla 55 Resistencia a compresión del concreto con adición de 2.0 kg/m ³ de FIBRA ZPP ..	94
Tabla 56 Resistencia a compresión del concreto con adición de 0.5 kg/m ³ de SikaFiber®	
1225 PPM.....	95
Tabla 57 Resistencia a compresión del concreto con adición de 0.7 kg/m ³ de SikaFiber®	
1225 PPM.....	95
Tabla 58 Resistencia a compresión del concreto con adición de 0.9 kg/m ³ de SikaFiber®	
1225 PPM.....	96
Tabla 59 Resistencia a flexión del concreto patrón.....	96
Tabla 60 Resistencia a flexión del concreto con adición de 0.4 kg/m ³ de FIBRA ZPP	97
Tabla 61 Resistencia a flexión del concreto con adición de 1.2 kg/m ³ de FIBRA ZPP	97
Tabla 62 Resistencia a flexión del concreto con adición de 2.0 kg/m ³ de FIBRA ZPP	98
Tabla 63 Resistencia a flexión del concreto con adición de 0.5 kg/m ³ de SikaFiber® 1225	
PPM.....	98
Tabla 64 Resistencia a flexión del concreto con adición de 0.7 kg/m ³ de SikaFiber® 1225	
PPM.....	99
Tabla 65 Resistencia a flexión del concreto con adición de 0.9 kg/m ³ de SikaFiber® 1225	
PPM.....	99
Tabla 66 Módulo de elasticidad del concreto patrón y concreto con adición de fibras	100

Tabla 67 Esfuerzo y deformación unitaria del concreto patrón obtenidos en la resistencia a compresión	101
Tabla 68 Esfuerzo y deformación unitaria del concreto con adición de 0.4 kg/m ³ de FIBRA ZPP obtenidos en la resistencia a compresión	103
Tabla 69 Esfuerzo y deformación unitaria del concreto con adición de 1.2 kg/m ³ de FIBRA ZPP obtenidos en la resistencia a compresión	105
Tabla 70 Esfuerzo y deformación unitaria del concreto con adición de 2.0 kg/m ³ de FIBRA ZPP obtenidos en la resistencia a compresión	107
Tabla 71 Esfuerzo y deformación unitaria del concreto con adición de 0.5 kg/m ³ de SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a compresión	109
Tabla 72 Esfuerzo y deformación unitaria del concreto con adición de 0.7 kg/m ³ de SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a compresión	111
Tabla 73 Esfuerzo y deformación unitaria del concreto con adición de 0.9 kg/m ³ de SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a compresión	113
Tabla 74 Módulo de rotura y deformación unitaria del concreto patrón obtenidos en la resistencia a flexión.....	115
Tabla 75 Módulo de rotura y deformación unitaria del concreto con adición de 0.4 kg/m ³ de FIBRA ZPP obtenidos en la resistencia a flexión	117
Tabla 76 Módulo de rotura y deformación unitaria del concreto con adición de 1.2 kg/m ³ de FIBRA ZPP obtenidos en la resistencia a flexión	119
Tabla 77 Módulo de rotura y deformación unitaria del concreto con adición de 2.0 kg/m ³ de FIBRA ZPP obtenidos en la resistencia a flexión	121
Tabla 78 Módulo de rotura y deformación unitaria del concreto con adición de 0.5 kg/m ³ de SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a flexión	123

Tabla 79 Módulo de rotura y deformación unitaria del concreto con adición de 0.7 kg/m ³ de SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a flexión	125
---	-----

Tabla 80 Módulo de rotura y deformación unitaria del concreto con adición de 0.9 kg/m ³ de SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a flexión	127
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estados de humedad de los agregados	15
Figura 2 Molde para el ensayo de asentamiento.....	22
Figura 3 Esquema de los patrones de tipo de fallas.....	25
Figura 4 Diagrama de un dispositivo para ensayar a flexión vigas con cargas a los tercios ..	28
Figura 5 Curva característica de la relación esfuerzo/deformación para concreto	29
Figura 6 Laboratorio de ensayo de materiales de la facultad de ingeniería – UNC	36
Figura 7 Ubicación de la cantera de agregados provenientes del río Mashcon.....	37
Figura 8 Peso unitario de los diferentes tipos de concreto en estado fresco.....	61
Figura 9 Peso unitario de los diferentes tipos de concreto en estado endurecido.....	62
Figura 10 Resistencia a compresión promedio a los 28 días vs adición de FIBRA ZPP.....	63
Figura 11 Resistencia a compresión promedio a los 28 días vs adición de SikaFiber® 1225 PPM.....	64
Figura 12 Módulo de rotura promedio a los 28 días vs adición de FIBRA ZPP	65
Figura 13 Módulo de rotura promedio a los 28 días vs adición de SikaFiber® 1225 PPM	66
Figura 14 Curva de distribución granulométrica del agregado fino	77
Figura 15 Curva de distribución granulométrica del agregado grueso	81
Figura 16 Procedimiento para el ensayo de asentamiento	91
Figura 17 Esfuerzo vs deformación unitaria del concreto patrón obtenidos en la resistencia a compresión	102
Figura 18 Esfuerzo vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.4 kg/m ³ de FIBRA ZPP obtenidos en la resistencia a compresión.....	104
Figura 19 Esfuerzo vs deformación unitaria del concreto con adición de 1.2 kg/m ³ de FIBRA ZPP obtenidos en la resistencia a compresión.....	106

Figura 20 Esfuerzo vs deformación unitaria del concreto con adición de 2.0 kg/m ³ de FIBRA ZPP obtenidos en la resistencia a compresión.....	108
Figura 21 Esfuerzo vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.5 kg/m ³ de SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a compresión	110
Figura 22 Esfuerzo vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.7 kg/m ³ de SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a compresión	112
Figura 23 Esfuerzo vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.9 kg/m ³ de SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a compresión	114
Figura 24 Módulo de rotura vs deformación unitaria del concreto patrón obtenidos en la resistencia a flexión.....	116
Figura 25 Módulo de rotura vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.4 kg/m ³ de FIBRA ZPP obtenidos en la resistencia a flexión	118
Figura 26 Módulo de rotura vs deformación unitaria del concreto con adición de 1.2 kg/m ³ de FIBRA ZPP obtenidos en la resistencia a flexión	120
Figura 27 Módulo de rotura vs deformación unitaria del concreto con adición de 2.0 kg/m ³ de FIBRA ZPP obtenidos en la resistencia a flexión	122
Figura 28 Módulo de rotura vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.5 kg/m ³ de SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a flexión	124
Figura 29 Módulo de rotura vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.7 kg/m ³ de SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a flexión	126
Figura 30 Módulo de rotura vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.9 kg/m ³ de SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a flexión	128
Figura 31 Acopio de material de la cantera Hermanos Alaya.....	136
Figura 32 Ensayo de análisis granulométrico	136
Figura 33 Ensayo de peso unitario del agregado fino.....	137

Figura 34 Ensayo de peso unitario del agregado grueso	137
Figura 35 Ensayo de peso específico del agregado fino	138
Figura 36 Ensayo de peso específico del agregado grueso.....	138
Figura 37 Ensayo de contenido de humedad de los agregados.....	139
Figura 38 Ensayo de abrasión en la maquina Los Ángeles	139
Figura 39 Ensayo de material más fino que pasa la malla N° 200	140
Figura 40 Ensayo de asentamiento o slump.....	140
Figura 41 Ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco	141
Figura 42 Dosificación de SikaFiber® 1225 PPM	141
Figura 43 Dosificación de FIBRA ZPP	142
Figura 44 Elaboración de probetas cilíndricas de concreto	142
Figura 45 Ensayo de resistencia a compresión en muestras cilíndricas de concreto	143
Figura 46 Ensayo de resistencia a flexión en muestras prismáticas de concreto.....	143

RESUMEN

El concreto es el material predominante en la construcción, donde se busca constantemente mejorar sus propiedades mecánicas con el fin de tener estructuras más resistentes y duraderas. Es por ello que se han desarrollado diversos estudios acerca del concreto fibrorreforzado con fibras de polipropileno, encontrándose con resultados contradictorios, donde algunos estudios obtienen resultados favorables mientras que otros indican efectos negativos en las propiedades mecánicas. En ese sentido, aplicado a nuestro contexto local es necesario conocer la contribución de las fibras sintéticas en la resistencia a compresión y flexión del concreto, al utilizar agregados locales de Cajamarca. Por ende, se tuvo como objetivo determinar la variación de la resistencia mecánica de un concreto $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ al adicionar SikaFiber® 1225 PPM y FIBRA ZPP en comparación con un concreto tradicional (concreto patrón). Se utilizó agregados procedentes del río Mashcon. Se realizó la elaboración de 35 muestras cilíndricas y 35 muestras prismáticas, siendo ensayadas a los 28 días de edad. Los resultados de los ensayos indicaron que la adición de SikaFiber® 1225 PPM (0.5, 0.7 y 0.9 kg/m^3) y FIBRA ZPP (0.4 y 1.2 kg/m^3) lograron incrementos superiores al 10 % en la resistencia a compresión y flexión, en comparación con el concreto patrón.

Palabras clave: Resistencia mecánica, concreto, resistencia a compresión, resistencia a flexión, módulo de rotura, fibras sintéticas.

ABSTRACT

Concrete is the predominant material in construction, where efforts are constantly made to improve its mechanical properties in order to achieve stronger and more durable structures. Consequently, various studies have been conducted on fiber-reinforced concrete with polypropylene fibers, yielding contradictory results: some report favorable outcomes, while others indicate negative effects on mechanical properties. In this regard, applied to our local context, it is necessary to assess the contribution of synthetic fibers to the compressive and flexural strength of concrete when using local aggregates from Cajamarca. Therefore, the objective was to determine the variation in the mechanical strength of concrete with $f_c=210$ kg/cm² by adding SikaFiber® 1225 PPM and FIBRA ZPP, compared to traditional concrete (control concrete). Aggregates were sourced from the Mashcon River. A total of 35 cylindrical specimens and 35 prismatic specimens were prepared and tested at 28 days of curing. The test results indicated that the addition of SikaFiber® 1225 PPM (0.5, 0.7, and 0.9 kg/m³) and FIBRA ZPP (0.4 and 1.2 kg/m³) achieved increases greater than 10% in compressive and flexural strength compared to control concrete.

Keywords: Mechanical strength, concrete, compressive strength, flexural strength, modulus of rupture, synthetic fibers.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En el ámbito de la construcción el material más utilizado sigue siendo el concreto, por lo que es necesario crear estructuras más resistentes, más durables y que brinden mayor seguridad tanto a los responsables de realizar las obras como también a los mismos ocupantes. Es por ello conveniente y pertinente mejorar sus propiedades mecánicas. Estas cualidades pueden ser mejoradas mediante la incorporación de aditivos, que generalmente son líquidos, y/o mediante el uso de fibras sintéticas durante el proceso de dosificación del concreto (Armas Aguilar, 2016).

En los últimos años se han realizado diversas investigaciones para evaluar las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de polipropileno (fibras sintéticas), encontrándose con resultados contradictorios, donde algunos estudios obtienen resultados satisfactorios mientras que otros indican efectos negativos en las propiedades mecánicas (Mendoza, Aire, & Dávila, 2011). Siendo por ello necesario conocer en nuestro contexto local la contribución de las fibras sintéticas en la resistencia mecánica del concreto, al utilizar agregados locales de Cajamarca.

Por consiguiente, se realizó esta investigación, con el propósito de evaluar los resultados de los ensayos de resistencia a compresión y flexión de muestras de concreto con la adición de SikaFiber®1225 PPM y FIBRA ZPP, en diferentes dosificaciones por metro cubico de concreto y comparándolo con la muestra patrón a los 28 días de curado.

1.2. Formulación del problema

¿Cuánto varía la resistencia mecánica de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ al adicionar SikaFiber® 1225 PPM y FIBRA ZPP en comparación con el concreto tradicional?

1.3. Hipótesis de la investigación

La resistencia mecánica de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ varía en más del 10 % al adicionar SikaFiber® 1225 PPM y FIBRA ZPP respecto al concreto tradicional (concreto patrón).

1.4. Justificación de la investigación

Se justifica porque permite conocer cuál fibra sintética de polipropileno, ya sea SikaFiber® 1225 PPM o FIBRA ZPP que se adicione al concreto, contribuye en la mejora de su resistencia mecánica; esto involucra seleccionar la fibra y dosificación más adecuada que permita obtener concreto con propiedades superiores, además se resalta la importancia de contribuir con conocimientos experimentales al utilizar agregados locales y de dar a conocer las propiedades y ventajas del concreto fibrorreforzado, buscando incentivar su aplicación en las diferentes obras de la ciudad de Cajamarca como: pisos industriales, pavimentos rígidos, losas de puentes, elementos estructurales prefabricados, entre otros.

1.5. Alcances o delimitación de la investigación

Se buscó determinar la variación de la resistencia mecánica de un concreto con adición de SikaFiber® 1225 PPM, en la dosificación de 0.5, 0.7 y 0.9 kg/m^3 y FIBRA ZPP en la dosificación de 0.4, 1.2 y 2.0 kg/m^3 en comparación con el concreto tradicional (sin fibras) diseñado con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Se utilizó cemento Portland Pacasmayo tipo I, debido al uso general en estructuras de concreto. Los agregados requeridos para el estudio se obtuvieron de la cantera “Hermanos Alaya”, los cuales se extraen del río Mashcon.

Se efectuaron ensayos de compresión en especímenes cilíndricos de concreto de 15 cm x 30 cm, así como pruebas de resistencia a flexión en especímenes prismáticos de 15 cm x 15 cm x 50 cm, ambos a la edad de 28 días.

Se evaluó a los 28 días de curado, debido a que a esa edad el concreto logra teóricamente el 99% del $f'c$ de diseño final e indica si el concreto cumple con las exigencias de la estructura, asegurando su funcionamiento y durabilidad. En cambio, las pruebas a edades tempranas (7 y 14 días) se realizan cuando se requiere evaluar el progreso del fraguado del concreto.

1.6. Limitaciones

Los agregados utilizados, que son extraídos del río Mashcon, no fueron sometidos a análisis químico.

1.7. Objetivos

1.7.1. *Objetivo general*

- Determinar la variación de la resistencia mecánica de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ al adicionar SikaFiber® 1225 PPM y FIBRA ZPP en comparación con el concreto tradicional.

1.7.2. *Objetivos específicos*

- Determinar la resistencia a compresión y flexión del concreto patrón (sin adición de fibras) a la edad de 28 días.
- Determinar la resistencia a compresión y flexión del concreto con adiciones de 0.5 kg/m^3 , 0.7 kg/m^3 y 0.9 kg/m^3 de SikaFiber® 1225 PPM a la edad 28 días.
- Determinar la resistencia a compresión y flexión del concreto con adiciones 0.4 kg/m^3 , 1.2 kg/m^3 y 2.0 kg/m^3 de FIBRA ZPP a la edad 28 días.
- Comparar la resistencia a compresión y flexión del concreto con adiciones de fibras respecto al concreto patrón.

1.8. Descripción del contenido de los capítulos

Se describe el contenido de cada capítulo a continuación:

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

Describe el planteamiento y formulación del problema, hipótesis, justificación, alcances o delimitación, limitaciones, objetivos y descripción del contenido de los capítulos que contiene la investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Proporciona el sustento teórico necesario para el entendimiento de la investigación, donde se muestra investigaciones o estudios realizado por otros investigadores referidos al tema de estudio que se va a realizar, lo cual comprende los antecedentes teóricos, bases teóricas y definición de términos básicos.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

Indica cómo se realizó la investigación, permitiendo verificar los resultados en un futuro por otros investigadores. Para lo cual se detalla la ubicación geográfica y temporal, población, muestra, unidad de análisis y unidad de observación. También se detalla las técnicas e instrumentos de recolección de datos, asimismo se plantea la metodología de la investigación donde se detalla el tipo, nivel, diseño y enfoque. Además, se realizó la descripción del procedimiento para el desarrollo de la investigación y como último aspecto del capítulo se realizó el tratamiento y análisis de datos.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realiza el análisis, discusión, explicación y comparación de los resultados obtenidos en la investigación, así como la contrastación de la hipótesis planteada.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Presenta las conclusiones de la investigación, las cuales son las respuestas al objetivo general y a cada objetivo específico planteado, y están en función de los resultados conseguidos mediante los ensayos; además se indica algunas recomendaciones pertinentes para futuras investigaciones, las cuales están en función de las limitaciones que se han presentado en el desarrollo de la tesis.

REFERENCIAS

ANEXOS

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes teóricos

2.1.1. Antecedentes internacionales

Bermejo & Iglesia (2023), en Cartagena (Colombia), en su investigación “Comportamiento mecánico del hormigón reciclado con adición de fibras sintéticas (fibra de polipropileno)” de la Universidad de Cartagena, llevaron a cabo el análisis al emplear una matriz de hormigón reciclado y adicionar fibras de polipropileno en diferentes porcentajes con el fin de determinar el más eficiente. Donde realizaron ensayos de resistencia a la compresión y flexión para evaluar el comportamiento mecánico de las muestras. Elaboraron 75 cilindros de 4" x 8" y 15 viguetas de 15 x 15 x 50 cm donde utilizaron porcentajes de 0 %, 5 %, 10 %, 15 % y 20 % de fibra de polipropileno, donde se observa que no hay variación de la resistencia a la flexión entre las muestras, siendo el ensayo decisivo la resistencia a la compresión para establecer el porcentaje óptimo de fibras. De acuerdo a los resultados obtenidos, la muestra con 10 % de fibra de polipropileno alcanza una resistencia a la compresión promedio de 102 % respecto a la resistencia de diseño (4000 PSI) y un aumento en 6.85 % en la resistencia a la compresión y 30 % en flexión con respecto a la muestra patrón (sin fibra), concluyendo que es la proporción que mejor se comporta y es una opción viable en el sector construcción.

Ramírez & Pastuña (2023) en Ambato (Ecuador), en su trabajo experimental “Análisis del efecto tamaño en el comportamiento a flexión y compresión de elementos de hormigón reforzado con fibras plásticas” de la Universidad Técnica de Ambato, evaluaron la resistencia a compresión y flexión de un hormigón simple y reforzado con macro fibras sintéticas de polipropileno (HRFP) en un diseño de mezcla de 240 kg/cm² a los 28 días mediante el método de densidad óptima, en el hormigón reforzado se añadió proporciones de 3 kg/m³ y 6 kg/m³ de fibra de polipropileno. Se elaboraron probetas prismáticas con tamaños de 100 x 100 x 350 mm, 100 x 200 x 650 mm y 100 x 300 x 950 mm que fueron evaluadas según la norma NTE

INEN 1573 y probetas cilíndricas de 100 x 200 mm y 150 x 300 mm que se evaluaron según la norma ASTM C1609. Teniendo como conclusión que el módulo de rotura mejora al aumentar la dosificación en el concreto y la resistencia a compresión se ve afectado por el tamaño de probeta disminuyendo hasta en un 12 % en probetas grandes, mostrando un mejor comportamiento en probetas de 100 x 200 mm con aumento de hasta un 6.46 % en la resistencia a la compresión.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Reinoso (2021), en Lima, en su tesis “Análisis del concreto reforzado con fibra sintética”, evaluó y analizó las propiedades en estado plástico y endurecido de un concreto fibrorreforzado, en muestras con adición de fibras Sika Cem1-Fiber (0.5 %, 1.0 % y 2.0 % del peso de cemento) y variando la relación a/c (0.60, 0.65, 0.70). Se realizaron 240 muestras en estado endurecido para ensayos de resistencia a la compresión y módulo de rotura. Logrando mayores resistencias con adición de 1.0 % de fibra y relación a/c de 0.60. Teniendo como resultados un aumento de hasta el 22.90 % en la resistencia a la compresión e invarianza en la resistencia a la flexión en comparación con la muestra patrón.

Honores (2023), en la ciudad de Trujillo, en su tesis “Influencia de las fibras sintéticas en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, para la construcción de edificaciones en la localidad de Trujillo, la libertad – 2023”, que tuvo como objetivo principal determinar la influencia de fibras sintéticas en la resistencia a la compresión en un concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Se elaboraron probetas con dosificaciones de 0.33 % 0.50 % y 0.66 % de fibras sintéticas para ser evaluadas a los 7, 14 y 28 días de curado. De lo cual se obtuvo que la mayor resistencia a la compresión fue a los 28 días con adición de 0.50 % de fibras, logrando 229.54 kg/cm^2 superando en 109.30% a la resistencia de diseño. Por lo tanto, concluye que es posible usar fibras sintéticas en elementos estructurales en la construcción de edificaciones.

Lopez (2023), en la ciudad de Pimentel, en su investigación “Estudio de las propiedades mecánicas del concreto adicionando fibra de polipropileno macro sintética estructural”, realiza un estudio experimental incorporando macro fibra sintética (Fibermesh-650 S 60M) en un concreto de $f'c = 210\text{kg/cm}^2$, ensayando 140 probetas entre ellas cilíndricas y vigas a los 7, 14 y 28 días de curado con dosificaciones de 3 kg/m^3 , 5 kg/m^3 , 7 kg/m^3 y 10 kg/m^3 , dando como resultado que las macro fibras en una adición de 7 kg/m^3 , aumentan significativamente las propiedades mecánicas del concreto, resultando la resistencia a la compresión mayor en 12.25 %, la resistencia a la flexión mayor en 19.51 % en comparación con la muestra patrón.

2.1.3. Antecedentes locales

Chilón (2018), en Cajamarca, en su tesis “Influencia de la fibra sintética (sika® fiber force pp-48) en el comportamiento mecánico de un concreto autocompactante con $f'c=280\text{ kg/cm}^2$ ”, realiza el estudio de las propiedades del concreto autocompactante en estado fresco y endurecido, para lo cual emplea agregados de la planta de chancado denominada “Roca Fuerte” provenientes del río Chonta, cemento Pacasmayo Tipo I, aditivo Master Glenium SCC 3800 y agua de la ciudad Universitaria. Usó fibra sintética de la marca sika® fiber force pp-48 en proporciones de 2, 3 y 4 kg/m^3 de concreto autocompactante (CAC). Para realizar las pruebas en laboratorio se elaboraron 108 probetas cilíndricas y 72 prismáticas, evaluando los mismos a los 7, 14 y 28 días a compresión y flexión. Concluyendo que para una dosificación de 4 kg/m^3 la resistencia a la compresión aumenta en un máximo de 17.3 %, en tanto que para una dosificación de 2 kg/m^3 la resistencia a la flexión aumenta hasta 7 %.

Salcedo (2017), en la ciudad de Cajamarca, en su tesis “Influencia de la incorporación de fibra de polipropileno monofilamento en la resistencia mecánica del concreto de $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ ”, donde experimentalmente hace un estudio para realizar la evaluación de la incorporación de fibra de polipropileno monofilamento en un 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 % (en peso 2, 4, 6, 8 kg/m^3 de concreto), evaluando su capacidad para soportar esfuerzos de compresión y

flexión y realizando comparación con el concreto patrón (sin adición de fibras). Para la elaboración de la mezcla se usaron agregados del Rio Chonta, cemento Pacasmayo Tipo I y fibra de la marca SikaFiber FORCE PP – 48. De acuerdo a los resultados concluye que al incorporar fibra en un 0.4 % al concreto, esta incrementa en un 5.84% la resistencia a la compresión y un 17.20 % la resistencia a la flexión con respecto a la muestra patrón, representando los incrementos un $f'c = 234.50 \text{ kg/m}^2$ y un $Mr = 37.36 \text{ kg/cm}^2$ respectivamente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto

Se compone de una mezcla de materiales conglomerantes, agregados finos y gruesos. Los medios conglomerantes que más se usan son el cemento Portland y agua, así como también se puede usar aditivos (NTP 339.047, 2019).

2.2.1.1. Componentes del Concreto

2.2.1.1.1. Cemento Portland.

Es definido por la NTP 334.001 (2011) como un cemento hidráulico, el cual es generado de la molienda de clinker Portland, compuesto básicamente de silicato de calcio hidratado, y de diferentes formas de sulfato de calcio que se agrega durante el proceso de molienda.

a. Composición

La composición de un cemento portland puede variar de acuerdo al tipo y la marca. Siendo los principales componentes los que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1

Principales componentes del cemento portland

Nombre del componente	Composición Óxida	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Aluminio Ferrito tetracálcico	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Nota. Adaptado de Neville, 1995/2013.

b. Tipos

Según la norma NTP 334.009 (2020), muestra que existen 5 tipos de cemento, que son los siguientes:

Tipo I: De uso general, cuando no se requiera de propiedades específicas en obra.

Tipo II: Cuando principalmente se desea una moderada resistencia a sulfatos.

Tipo III: Se utiliza siempre que se requiera alcanzar altas resistencias iniciales en el concreto.

Tipo IV: Cemento usado cuando se desea un bajo calor de hidratación.

Tipo V: Destinado a utilizarse en condiciones donde es necesario garantizar una alta resistencia al ataque de sulfatos.

Para la elaboración de los ensayos se utilizará cemento Pacasmayo Tipo I, debido a su uso general.

2.2.1.1.2. Agregados

Según la NTP 400.011 (2013), lo constituyen un conjunto de partículas provenientes de la naturaleza o de manera artificial, que pueden procesarse o fabricarse y cuyo tamaño se encuentran dentro de los límites fijados por dicha norma. También se les denomina áridos. Para ser clasificados según su granulometría, la norma establece una serie de tamices normalizados (Tabla 2).

Tabla 2

Tamices a utilizar para poder realizar el análisis granulométrico

Agregado	Tamices normalizados
FINO	150 µm (N° 100)
	300 µm (N° 50)
	600 µm (N° 30)
	1,18 mm (N° 16)
	2,36 mm (N° 8)
	4,75 mm (N° 4)
GRUESO	9,50 mm (3/8)
	12,5 mm (1/2)
	19,0 mm (3/4)
	25,0 mm (1)
	37,5 mm (1 1/2)
	50,0 mm (2)
	63,0 mm (2 1/2)
	75,0 mm (3)
	90,0 mm (3 1/2)
	100,00 mm (4)

Nota. Adaptado de NTP 400.011, 2020.

a. Agregado fino

La NTP 400.037 (2018) describe al árido como la desintegración natural o artificial de roca, que debe pasar el tamiz estándar de 3/8” (9.5 mm) y quedar retenido en el tamiz estándar N°200 (75 um), los cuales debe cumplirse para poder ser utilizado en la elaboración del concreto.

Con respecto a lo requerido para la granulometría se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3*Requisitos granulométricos para el agregado fino*

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,50 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 100
600 µm (N° 30)	25 a 60
300 µm (N° 50)	5 a 30
150 µm (N° 100)	0 a 10
75 µm (N° 200)	0 a 3,0 ^{A,B}

Nota. ^A Para concreto no sujeto a la abrasión, el límite para el material más fino que el tamiz 75 µm (N° 200) debe ser máximo 5%. ^B Para agregado fino artificial u otros reciclados, si el material más fino que el tamiz 75 µm (N° 200) consiste en polvo de trituración, esencialmente libre de arcilla o esquistos, este límite debe ser 5% para concreto sujeto a abrasión y máximo 7% para concreto no sujeto a abrasión. Adaptado de NTP 400.037, 2018.

b. Agregado grueso

En la NTP 400.037 (2018) se menciona que el árido grueso puede tener procedencia de piedra chancada o triturada, grava, tratamiento de escombros (concreto reciclado) o la combinación de los antes mencionados. El cual debe ser retenido en el tamiz estándar N° 4 (4.75 mm), así como también cumplir los requisitos mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4

Requisitos granulométricos para el agregado grueso

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 1/2 pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 1/2 pulg)	50 mm (2 pulg)	37,5 mm (1 1/2 pulg)	25 mm (1 pulg)	19 mm (3/4 pulg)	12,5 mm (1/2 pulg)	9,5 mm (3/8 pulg)	4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°8)	1,18 mm (N°16)	300 µm (N°50)
1	90 mm a 37,5 mm (3 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
2	63 mm a 37,5 mm (2 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
3	50 mm a 25,0 mm (2 pulg a 1 pulg)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
357	50 mm a 4,75 mm (2 pulg a N°4)	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	...
4	37,5 mm a 19,0 mm (1 1/2 pulg a 3/4 pulg)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...	...
467	37,5 mm a 4,75 mm (1 1/2 pulg a N°4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	...
5	25,0 mm a 12,5 mm (1 pulg a 1/2 pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	...
56	25,0 mm a 9,5 mm (1 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	...
57	25,0 mm a 4,75 mm (1 pulg a N°4)	...	...	...	...	...	100	95 a 100	90 a 100	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	...
6	19,0 mm a 9,5 mm (3/4 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...	...
67	19,0 mm a 4 mm (3/4 pulg a N°4)	...	...	...	...	...	...	100	100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...
7	12,5 mm a 4,75 mm (1/2 pulg a N°4)	...	...	...	...	...	...	...	...	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	...
8	9,5 mm a 2,36 mm (3/8 pulg a N°8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	...
89	12,5 mm a 9,5 mm (1/2 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4,75 mm a 1,18 mm (N°4 a N°16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Nota. Adaptado de NTP 400.037, 2018.

c. Propiedades de los agregados

c.1. Propiedades físicas de los agregados

c.1.1. Granulometría

Según la NTP 400.011 (2013), es la representación de la clasificación de los diferentes tamaños de las partículas de los áridos luego de ser pasados por tamices normalizados, siendo estos ubicados de forma continua y ascendente de menor a mayor tamaño de abertura. Donde se calcula el peso retenido y/o que pasa.

La NTP 400.012 (2018) establece el procedimiento para determinar la distribución de partículas de acuerdo al tamaño, tanto en agregado grueso y agregado fino.

Para el agregado grueso, a partir de su granulometría, resultan los términos de tamaño máximo y tamaño máximo nominal, los cuales, conforme a la NTP 400.037 (2018) se define de la siguiente manera:

- **Tamaño Máximo (TM):** Se define como la menor abertura del tamiz por donde pasa la totalidad de la muestra.
- **Tamaño Máximo Nominal (TMN):** Se refiere al tamiz de menor abertura de la serie utilizada, que genera el primer retenido en el rango de 5 % y 10 % de árido grueso.

c.1.2. Módulo de finura (MF)

Es el resultado obtenido de la suma de porcentajes acumulados de los tamices N°100, N°50, N°30, N°16, N°8, N°4, N°3/8", N°3/4", N°1 1/2", 3" y 6" de la muestra de agregado dividido por 100 (NTP 400.011, 2013).

c.1.3. Peso unitario (Densidad)

Según la NTP 400.017 (2016), también se le denomina densidad de masa, el cual viene a ser la masa por unidad de volumen, donde el volumen incluye el volumen de partículas individuales y de los espacios vacíos entre las partículas. Siendo su clasificación:

- **Peso unitario suelto**

Resulta del llenado de un recipiente con agregado seco, vertido por gravedad, en una sola capa y enrasando la superficie sin provocar compactación. Para obtener el valor se divide el peso del material entre el volumen del recipiente (Matallana, 2019).

- **Peso unitario compactado**

Consiste en llenar un recipiente con dimensiones especificadas con agregado seco, pero esta vez en tres capas de igual espesor, compactando cada una con 25 golpes de una varilla lisa normalizada de 5/8". Para obtener el valor se debe dividir el peso del material compactado entre el volumen del recipiente (Matallana, 2019).

c.1.4. Peso específico

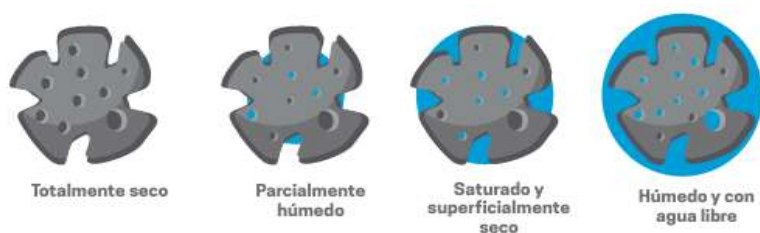
De acuerdo a la NTP 400.021 (2018), también se denomina densidad relativa, siendo la relación entre el peso de un volumen unitario de material y peso del mismo volumen de agua, a una temperatura estable. También indica que dependiendo de las condiciones de saturación existen tres maneras de expresarlo:

- Peso específico de masa.
- Peso específico de masa saturada superficialmente seca.
- Peso específico aparente.

En la Figura 1 se muestra los diferentes estados de humedad en las partículas del agregado.

Figura 1

Estados de humedad de los agregados



Nota. Extraído de Matallana, 2019.

c.1.5. Absorción

Es la cantidad de agua absorbida por el agregado luego de estar sumergido por 24 horas en agua y permitir que esta penetre en los poros de las partículas, pero no considerando el agua que se encuentra superficialmente, el valor se expresa como un porcentaje del peso seco del agregado (NTP 400.021, 2018).

c.1.6. Contenido de humedad

En la NTP 339.185 (2018), se indica como medir la cantidad de humedad tanto superficial como la contenida en los poros de los áridos gruesos y finos mediante secado. Debido a que el contenido de humedad depende de las condiciones climáticas y favorece el incremento de agua en la mezcla de concreto, es fundamental controlar esta propiedad en conjunto con la absorción para poder realizar correcciones en el agua de diseño y obtener una dosificación correcta de la mezcla.

c.1.7. Porcentaje de material fino

El material que atraviesa el tamiz estándar con abertura de $75\mu\text{m}$ (N° 200) es considerado material fino, y su presencia en agregados perjudican el rendimiento en morteros y concretos. Por ello, la NTP 400.018 especifica los pasos a seguir para cuantificar, mediante lavado, la cantidad de polvo, partículas finas y sustancias hidrosolubles en agua que serán eliminados en el transcurso del ensayo.

Los límites de porcentaje del total de la muestra de material fino que debe presentar los áridos se muestran en la Tabla 5 y Tabla 6.

Tabla 5*Límites para sustancias deletéreas en el agregado fino*

Ensayo	Porcentajes del total de la muestra (máx.)
Terrones de arcilla y partículas friables	3,0
Material más fino que la malla normalizada 75 µm (No.200):	
Concreto sujeto a abrasión	1,0 ^A
Otros concretos	5,0 ^A
Carbón y lignito:	
Cuando la apariencia de la superficie del concreto es importante.	0,5
Otros concretos	1,0
Impurezas orgánicas	El agregado fino que no demuestre presencia nociva de materia orgánica, cuando se determine conforme NTP 400.013, se deberá considerar satisfactorio. El agregado fino que no cumple con el ensayo anterior, podrá ser utilizado si al determinarse el efecto de las impurezas orgánicas sobre la resistencia de morteros (NTP 400.024) la resistencia relativa a los 7 días no es menor del 95 %

Nota. ^A En el caso de arena manufacturada los porcentajes de material más fino que la malla normalizada 75 µm (No. 200) pueden aumentarse a 5,0 % y 7 % respectivamente, siempre que estén libres de arcillas o limos. Para la caracterización de esos finos, existen diversos métodos disponibles, dentro de ellos el de Equivalente de Arena de la norma ASTM D 2419 Adaptado de NTP 400.037, 2018.

Tabla 6*Límites para sustancias deletéreas en el agregado grueso*

Ensayo	Porcentajes del total de la muestra (máx.)
Terrones de arcilla y partículas friables	5,0
Material más fino que la malla normalizada 75 µm (No.200):	1,0 ^A
Horsteno (menos de 2,40 de densidad)	5,0 ^B
Carbón y lignito: Cuando la apariencia de la superficie del concreto es importante.	0,5
Otros concretos	1,0

Nota. ^A Este porcentaje podrá ser aumentado a 1,5 % si el material está esencialmente libre de limos y arcillas. ^B Sólo en casos de intemperización moderada (concreto en servicio a la intemperie continuamente expuesto a congelación y deshielo en presencia de humedad).

Adaptado de NTP 400.037, 2018.

c.2. Propiedad mecánica del agregado

c.2.1. Resistencia a la degradación por abrasión e impacto

Matallana (2019) define a la resistencia a la abrasión, dureza o desgaste de un agregado como una propiedad fundamental cuando dichos agregados se usan para la preparación de concretos sometidos a roce permanente o esfuerzos de abrasión, como sucede en carreteras, pavimentos rígidos o pisos industriales. Para determinar esta propiedad se realiza mediante la Máquina de Los Ángeles o el Micro-Deval.

En la NTP 400.019 (2014) se detalla el método de ensayo para determinar la resistencia a la degradación utilizando la máquina de Los Ángeles, en el cual el agregado grueso es sometido a una combinación de acciones como la abrasión o desgaste, impacto y trituración, donde previamente se debe hallar la gradación del agregado (Tabla 8) para luego según lo especificado en la norma establecer el número de esferas metálicas (Tabla 7) que deben ir dentro

del tambor y el cual debe rotar a una velocidad y un número de revoluciones señalado, donde finalmente pasará por un tamiz normalizado de 1.70 mm (N° 12) y se calculará la pérdida de peso en porcentaje.

Tabla 7

Número de esferas según la gradación de la muestra de ensayo

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	1	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Nota. Podrá utilizarse esferas de acero de 46,00 mm (1 13/16 pulg) y 47,6 mm (1 7/8 pulg) de diámetro, cada una con una masa de aproximadamente 400 g y 440 g, respectivamente. Podrán utilizarse también esferas de acero de 46,8 mm (1 27/32 pulg) de diámetro; con una masa de aproximadamente 420 g. La carga podrá consistir en una mezcla de estas' medidas conforme a las tolerancias de masa indicadas. Adaptado de NTP 400.019, 2014.

Tabla 8

Gradación de las muestras de ensayo

Tamiz mm (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 ½ pulg)	25,0 mm (1 pulg)	1250 ± 25	.....	.....	.....
25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (3/4 pulg)	1250 ± 25	.....	.....	.....
19,0 mm (3/4 pulg)	12,5 mm (1/2 pulg)	1250 ± 10	2500 ± 10	.....	.....
12,5 mm (1/2 pulg)	9,5 mm (3/8 pulg)	1250 ± 10	2500 ± 10	.....	.....
9,5 mm (3/8 pulg)	6,3 mm (1/4 pulg)	.....	.....	2500 ± 10	.....
6,3 mm (1/4 pulg)	4,75 mm (N°4)	.....	.....	2500 ± 10	.....
4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°8)	.....	.....	.....	5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Nota. Adaptado de NTP 400.019, 2014.

La NTP 400.037 (2018) señala que la pérdida máxima por desgaste de agregado grueso es de 50 % (Tabla 9).

Tabla 9*Resistencias mecánica de los agregados*

Métodos alternativos	No mayor que
Abrasión (Método los Ángeles)	50%
Valor de impacto del agregado (VIA)	30%

Nota. Adaptado de NTP 400.037, 2018.

2.2.1.1.3. Agua de mezcla

Pasquel (1998) indica que un criterio empírico para determinar si el agua puede ser utilizada en la producción de concreto, depende si puede ser consumida por el ser humano. Ya que el problema principal reside en las impurezas que presenta el agua, afectando a la pasta de cemento en su desempeño normal. Teniendo funciones principales:

- Hidratar al cemento.
- Facilitar trabajabilidad de la mezcla.
- Crea vacíos necesarios en la pasta, lo que permite que los productos de hidratación se desarrollen adecuadamente.

Por otra parte, la NTP 339.088 (2019) indica que cuando se utilice agua potable como agua de mezcla no será necesario la realización de ensayos para evaluar su conformidad con la norma. Además, se menciona que está compuesta por diversos aportes: agua de tanda, hielo (cuando se requiere en climas cálidos), agua añadida por el operador del mixer, humedad presente en agregados y agua contenida en aditivos (si la relación agua/materiales cementosos > 0.01).

Por lo tanto, utilizar aguas no aptas para la preparación y curado del concreto genera problemas como reducción de la resistencia, aumento de la permeabilidad, mayor fisuración y corrosión del acero. Es por ello que utilizar agua potable es lo más adecuado, así como también

realizar un buen control en la dosificación de la mezcla, esto permitirá asegurar un concreto con las propiedades deseadas.

2.2.1.2. Propiedades del concreto

2.2.1.2.1. En estado Fresco

a. Consistencia

La NTP 334.001 (2019) lo define como el grado de fluidez que presenta una mezcla de concreto, ensayada mediante un procedimiento fijado previamente. Se mide mediante el asentamiento del concreto fresco, expresada por el descenso de la muestra de concreto representativa de la tanda, al liberarse del molde metálico que lo contenía.

De acuerdo al ACI 211.1 se considera tres tipos de consistencias que se detallan a continuación:

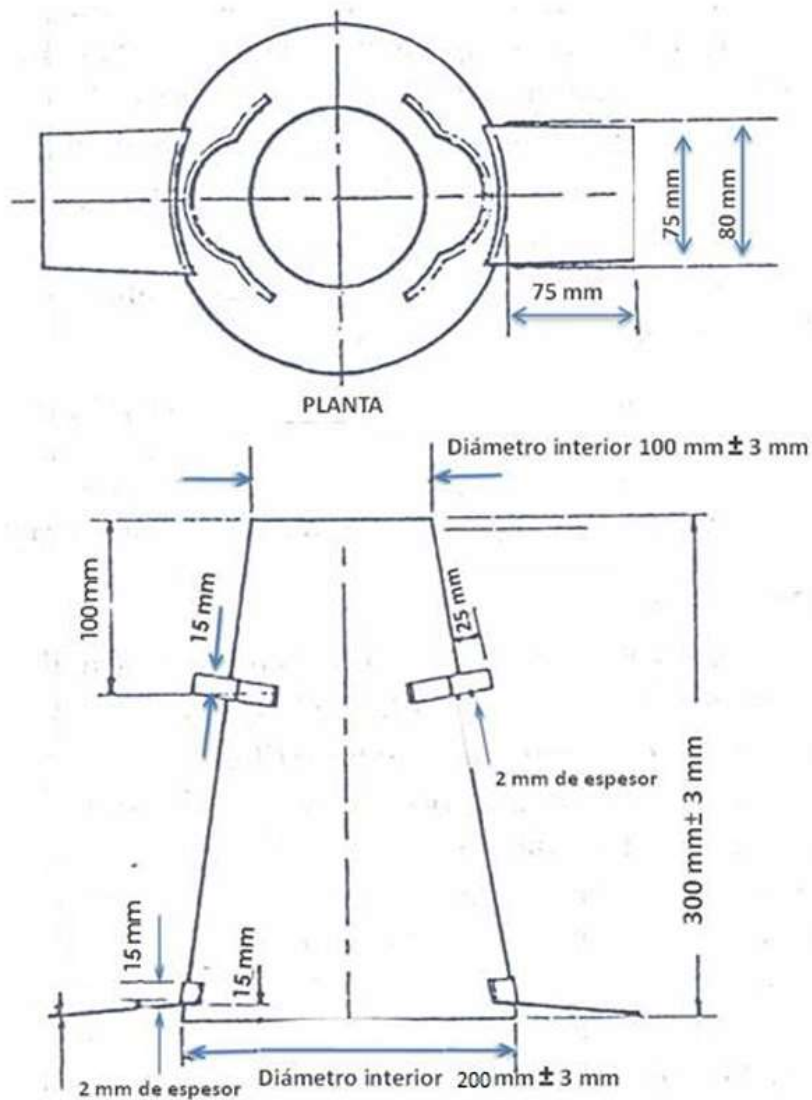
- Consistencia seca: Corresponde asentamientos de 0” a 2” (0 mm a 50 mm).
- Consistencia plástica: Corresponde asentamientos de 3” a 4” (75 mm a 100 mm).
- Consistencia fluida: Corresponde asentamientos de más de 5” (125 mm).

El ensayo de asentamiento o revenimiento mediante el uso de cono de Abrams (Figura 2) mostrará el grado de fluidez de la mezcla el cual permitirá determinar la consistencia del concreto fresco.

En la NTP 339.035 (2015) se detalla los instrumentos a utilizar y el procedimiento a seguir para medir el asentamiento en mezclas de concreto, ya sea en laboratorio o directamente en obra. En la Figura 2 se muestra el detalle del molde metálico y en la Figura 16 (Anexo 3) se muestra la secuencia de pasos a seguir para determinar el asentamiento.

Figura 2

Molde para el ensayo de asentamiento



Nota. Extraído de NTP 339.035, 2015.

b. Densidad (Peso Unitario)

Matallana (2019) indica que es la relación entre la masa por unidad de volumen, siendo esta propiedad dependiente de la masa y de la forma en que participan los diferentes componentes del concreto. Donde se tiene densidades entre 2200 kg/m^3 a 2400 kg/m^3 en concretos normales, existiendo una diferencia de 7 % aproximadamente entre estado fresco y endurecido, siendo menor en estado endurecido pues se pierde por evaporación parte del agua de mezcla.

En la NTP 339.046 (2008) se menciona que el tipo de consolidación a emplear depende de la consistencia de mezcla, donde se aplicará solo vibrado para asentamientos menores a 25 mm, apisonado o vibrado si esta entre 25 a 75 mm y apisonado si es mayor a 75 mm. Se usará un recipiente metálico con medidas establecidas en la norma (ver Tabla 10) según al tamaño máximo nominal.

Tabla 10

Capacidad de los recipientes de medición

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Capacidad del recipiente de medición ^A	
pulg	mm	pie ³	L
1	25,0	0,2	6
1 ½	37,5	0,4	11
2	50	0,5	14
3	75	1,0	28
4 ½	112	2,5	70
6	150	3,5	100

Nota. ^ATamaños indicados de recipientes de medición que se usarán para ensayar hormigón (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. Adaptado de NTP 339.046, 2008.

2.2.1.2.2. En estado endurecido

En un concreto endurecido la principal propiedad a evaluar es la resistencia, capacidad de soportar fuerzas sin llegar a romperse, permitiendo determinar si el concreto cumple con las características de diseño y si puede ser utilizado según la naturaleza de la obra.

a. Resistencia a la compresión

Según Matallana (2019), es la propiedad de resistir esfuerzos que llevan a la falla del concreto, medido en especímenes cilíndricos estandarizados, a una edad de 28 días o menor. Siendo por lo general el valor de esta propiedad con la que se diseña y realiza el control de

calidad de las estructuras. Además, indica está fuertemente condicionado por la relación agua-cemento (a/c), para una determinada edad y condiciones de curado.

Por otra parte, la NTP 339.034 (2021) explica que, para calcular la resistencia a la compresión, se realiza mediante la aplicación de una carga axial en muestras cilíndricas moldeadas, a una velocidad establecida y hasta producir la falla. Luego, se divide la carga máxima soportada entre el área transversal del espécimen, siendo ese resultado la resistencia a compresión y es expresada en kg/cm^2 , MPa o psi. La norma también enfatiza la importancia de respetar las tolerancias permitidas para ensayar los testigos (Tabla 11), e identificar el tipo de falla que se produce en las probetas luego de la rotura (Figura 3).

Tabla 11

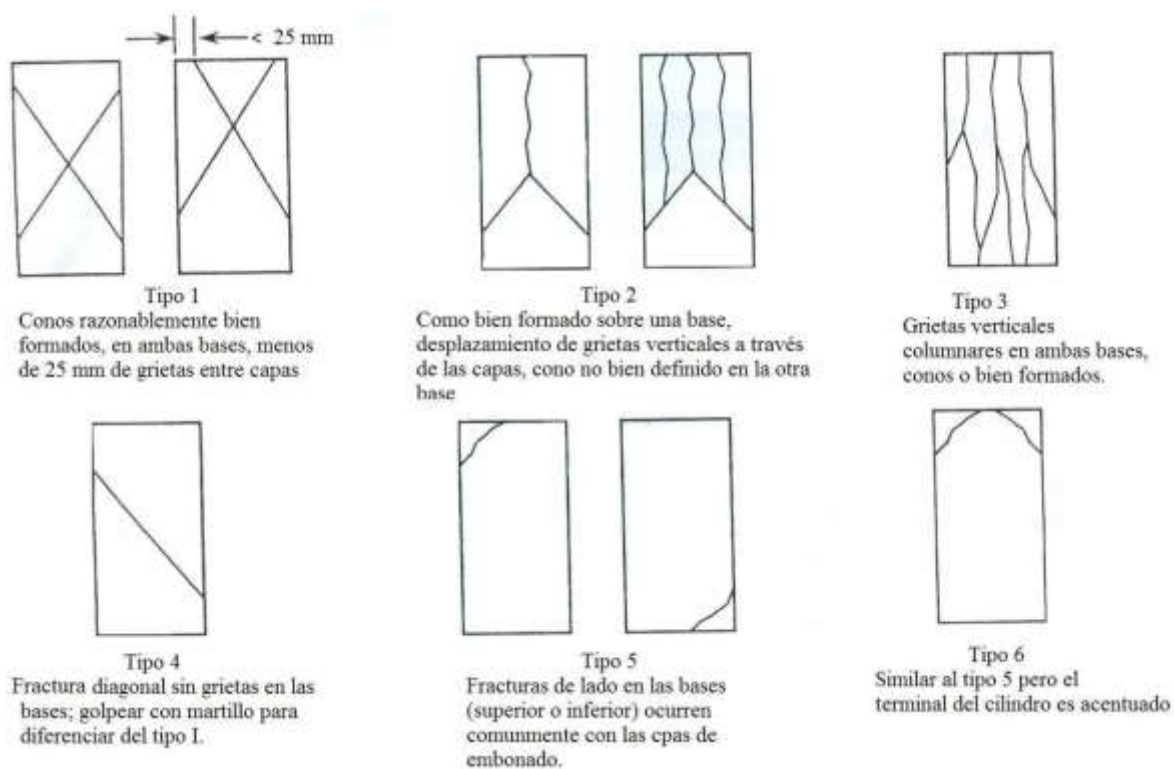
Edades de ensayo y tolerancias permisibles

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	$\pm 0,5 \text{ h } \text{ó} 2,1 \%$
3 d	$\pm 2 \text{ h } \text{ó} 2,8 \%$
7 d	$\pm 6 \text{ h } \text{ó} 3,6 \%$
28 d	$\pm 20 \text{ h } \text{ó} 3,0 \%$
90 d	$\pm 48 \text{ h } \text{ó} 2,2\%$

Nota. Adaptado de NTP 339.034, 2021.

Figura 3

Esquema de los patrones de tipo de fallas



Nota. Extraído de NTP 339.034, 2021.

Las pautas para la preparación y curado de las muestras cilíndricas en laboratorio se detallan en la NTP339.183; en la Tabla 12 se muestran el número de capas y modo de consolidación requeridas de acuerdo al tipo y tamaño de espécimen.

Tabla 12*Número de capas requeridas por espécimen*

Tipo y tamaño de espécimen mm (pulg)	Modo de consolidación	Número de capas de aproximadamente igual de profundidad
Cilindros Diámetro en mm (pulg)		
75 a 100 (3 a 4)	varillado	2
150 (6)	varillado	3
225 (9)	varillado	4
Hasta de 225 (9)	vibración	2
Prismas y cilindros horizontales para estructuras plástico: Profundidad en mm (pulg)		
Hasta 200 (8)	varillado	2
Más de 200 (8)	varillado	3 o más
Hasta 200 (8)	vibración	1
Más de 200 (8)	vibración	2 o más

Nota. Adaptado de NTP 339.183, 2021.**b. Resistencia a la flexión**

Para Neville (1995/2013), consiste en un ensayo donde una probeta prismática de concreto sin refuerzo es sometida a cargas en dos puntos, espaciados a un tercio del claro libre, hasta que ocurre la falla, denominada como prueba de carga en los tercios. Siendo así la tensión máxima teórica alcanzada en la parte inferior de la viga conocido como Módulo de Rotura (M_r). Esta propiedad es un factor esencial a evaluar cuando se trata de estructuras de pavimentos rígidos, pisos industriales, y otros elementos que son sometidos a fuerzas transversales.

La NTP 339.183 (2021) indica que para calcular el M_r se hacen mediante vigas con dimensiones de 15 x 15 x 50 cm, la norma también describe los pasos para su fabricación y curado.

En la NTP 339.078 (2022) se detalla el procedimiento y cálculo para obtener el módulo de rotura en vigas de apoyo simple aplicando carga en los tercios del tramo; para calcular el M_r

depende de dónde se produzca la falla, que puede ser en el tercio medio o dentro de un margen del 5 % de la luz libre, si se encuentra fuera de ese rango se descartará el espécimen.

- Fórmula cuando la falla ocurre en el tercio medio.

$$M_r = \frac{PL}{bh^2}$$

- Fórmula cuando la falla ocurre fuera del tercio medio, pero no más de 5% de la luz libre.

$$M_r = \frac{3Pa}{bh^2}$$

Donde:

M_r = Módulo de rotura, kg/cm².

P = Carga máxima de rotura, kg.

L = Luz libre entre apoyos, cm

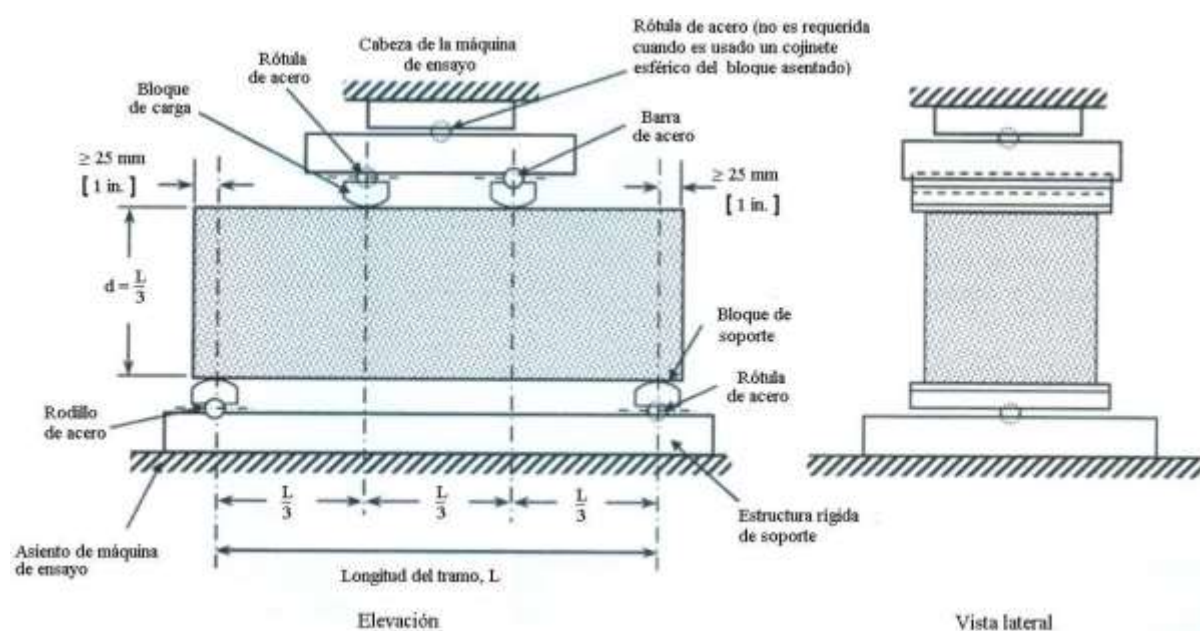
b = Ancho promedio de la viga en la sección de falla, cm.

h = Altura promedio de la viga en la sección de falla, cm.

a = Distancia media entre la línea de falla y el apoyo más cercano, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga, cm.

Figura 4

Diagrama de un dispositivo para ensayar a flexión vigas con cargas a los tercios



Nota. Extraído de NTP 339.078, 2022.

c. Módulo de elasticidad del concreto

Pasquel (1998) señala en términos generales que la elasticidad es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin llegar a tener deformación permanente. Además, menciona que el concreto no es completamente elástico, debido a que la curva esfuerzo – deformación no tiene un comportamiento lineal; sin embargo, de forma convencional se define en el concreto un “Módulo de elasticidad estático”, el cual puede obtenerse mediante una recta tangente en la parte inicial del diagrama o una recta secante que va desde el inicio del diagrama hasta un punto definido, generalmente expresado como un porcentaje de la resistencia última. Presentando los concretos normales un módulo de elasticidad entre 250000 kg/cm^2 a 350000 kg/cm^2 , valores que guardan correlación directa con la resistencia a compresión e inversa con la relación agua/cemento.

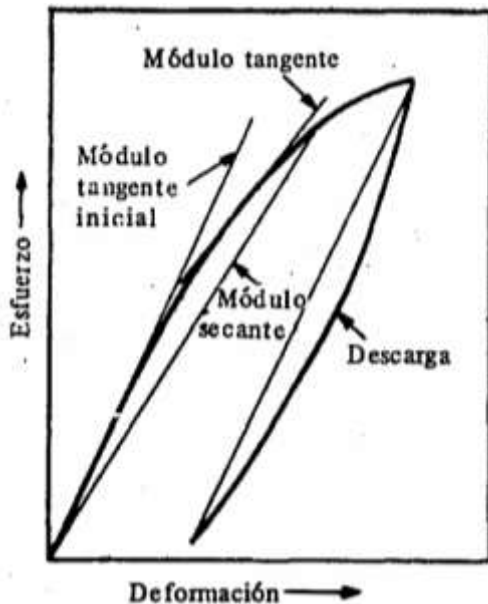
El concreto no tiene establecido un módulo de elasticidad, ya que depende de su resistencia, la edad, el tipo de carga aplicada, las características, proporciones de cemento y

agregados; la norma E.060 establece que, en concretos con peso unitario (w_c) que oscila en 1450 y 2500 kg/m³, el módulo de elasticidad (E_c) puede calcularse de la siguiente manera:

$$E_c = (w_c)^{1.5} 0.136 \sqrt{f'_c} \text{ (en kg/cm}^2\text{)}$$

Figura 5

Curva característica de la relación esfuerzo/deformación para concreto



Nota. Extraído de Neville, 1995/2013.

2.2.1.3. Dosificación de mezclas de concreto

También denominada proporcionamiento de mezclas o diseño de mezclas, es un proceso mediante el cual se llega a la combinación correcta de cemento, agregados, agua y/o aditivos, con el fin de obtener un concreto con las especificaciones deseadas. Buscando que la mezcla final cumpla requerimientos esenciales de trabajabilidad en el concreto fresco y lograr la resistencia, a una edad específica, en el concreto endurecido. Siempre considerando que los materiales de la mezcla satisfagan los requisitos de funcionamiento al menor costo posible y de fácil acceso. Es por ello que todo este proceso es considerado un arte más que una ciencia (Kumar & Monteiro, 1998).

La norma ACI 211.1, del Instituto Americano del Concreto (ACI por sus siglas en inglés), explica dos métodos para realizar la selección y ajuste de proporciones en el diseño de mezcla para un concreto de densidad normal, siendo estos los más reconocidos y usados en América del Norte y Latinoamérica (Matallana, 2019). A partir de los métodos propuestos por el ACI, se implementó el procedimiento del “método del módulo de fineza de la combinación de agregados”, con la finalidad de mejorar la relación fino-grueso en función del contenido de pasta. Para determinar el porcentaje de agregado fino, cuyo módulo de fineza es conocido, respecto al volumen absoluto total de agregado, se realiza mediante la fórmula que se presenta a continuación:

$$r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} * 100$$

Donde:

r_f = Porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total del agregado.

m_g = Módulo de fineza del agregado grueso.

m_c = Módulo de fineza de la combinación de agregados.

m_f = Módulo de fineza del agregado fino.

Si bien existen otros métodos de diseño, pero siempre se debe tener presente que las cantidades que se obtienen por cualquier método de dosificación que sea, solo representan una primera aproximación; debiendo estas ser corroboradas y ajustadas mediante ensayos en laboratorio.

De acuerdo a lo señalado, uno de los procedimientos que permite reajustar el diseño de mezcla mediante la resistencia del concreto, es usando la Ley de Powers. Esta ley relaciona la resistencia a compresión con el grado de hidratación y la relación agua-cemento según las siguientes fórmulas:

$$R = 2380X^3$$

$$X = \frac{0.647\alpha}{0.319\alpha + a/c}$$

Donde:

R = Resistencia a compresión, kg/cm²

X = Relación gel/espacio

α = Grado de hidratación

a/c = Relación agua-cemento

2.2.1.4. Concreto reforzado con fibras

Según Gutiérrez de López (2003), el empleo de fibras sintéticas o naturales como refuerzo parcial o total en el concreto tiene cierta antigüedad y difusión, pero tuvieron más relevancia desde 1960, donde se realizó la incorporación de fibras metálicas, vidrio, orgánicas, carbón, polipropileno, poliéster, nylon entre otras.

Los parámetros que permiten medir la calidad de refuerzo de un tipo de fibra son:

- Resistencia a la tensión
- Módulo de elasticidad
- Adherencia con la pasta de cemento
- Relación de poisson
- Relación longitud/diámetro

El uso principal de las fibras es en pavimentos y losas donde se manifiesta una relación área/volumen alto y es necesario un mecanismo de control de grietas superficiales; de manera similar en el vaciado de grandes volúmenes de concreto donde el calor de hidratación es alto y es fundamental el control de grietas y fisuras (Gutiérrez de López, 2003).

De acuerdo a la NTP 339.204 (2016), el concreto reforzado con fibra se clasifica según el material de la fibra que se incorpora, siendo de la siguiente manera:

- **Concreto reforzado con fibras TIPO I:** Cuando se incorpora fibras de aleación de acero, acero inoxidable o fibras de acero al carbono.
- **Concreto reforzado con fibras TIPO II:** Cuando es reforzado con fibras de vidrio.
- **Concreto reforzado con fibras TIPO III:** Cuando se incorpora fibras sintéticas.
- **Concreto reforzado con fibras TIPO IV:** Cuando se incorpora fibras naturales.

2.2.2. Fibras Sintéticas

Son fibras diseñadas especialmente para concreto, elaboradas a partir de materiales artificiales capaces de soportar la alcalinidad del concreto, ya sea antes o durante el proceso de mezclado. Su incorporación en proporciones convencionales no implica modificaciones en el diseño de la mezcla (National Ready Mixed Concrete Association, 2020).

2.2.2.1. Clasificación de las fibras sintéticas

Estas pueden ser adicionadas homogéneamente al hormigón, mortero o pasta. Se rigen por la norma UNE 83500-2 y se clasifican en:

- **Según el material:** Están compuestas por materiales poliméricos, tales como polipropileno, aramida, acrílico, polietileno de alta densidad, alcohol polivinílico, nylon o poliéster, los cuales se obtienen mediante un proceso de extrusión y luego se cortan.
- **Según el proceso de fabricación:**
 - Monofilamentos extruidos (Tipo I).
 - Láminas fibriladas (Tipo II).
- **Según sus dimensiones:** Pueden ser variables al igual que su diámetro y su forma:
 - Micro-fibras: < 0.30 mm diámetro
 - Macro-fibras: ≥ 0.30 mm diámetro

Las macrofibras se pueden usar para remplazar de manera parcial el acero estructural, se usan como un complemento secundario, aportando la propiedad de la tenacidad, la cual se manifiesta como respuesta post-fisuración del material. Teniendo las macrofibras de

polipropileno un mayor desempeño que las de acero. Las microfibras se usan principalmente para evitar el agrietamiento plástico, es decir la fisuración que se produce en el concreto fresco antes de llegar al fraguado final.

2.2.2.2. Características de las fibras sintéticas

Gutiérrez de López (2003), menciona algunas de las características que poseen las fibras sintéticas según el tipo de material que están compuestas, como son:

- **Polipropileno:** Bajo costo, alta durabilidad.
- **Nylon:** Alta resistencia y elongación. Ha sido usada frecuentemente en concretos resistentes a impactos. Muy alto costo.
- **Poliéster:** Existen dudas acerca de su durabilidad en ambientes alcalinos. Alto costo.
- **Polietileno:** Se producen fibras relativamente baratas.
- **Lanas de rocas:** Dificultad en su producción.

2.2.2.3. Fibras de polipropileno a utilizar

2.2.2.3.1. Microfibra de polipropileno SikaFiber® 1225 PPM

Se trata de una fibra monofilamento, elaborada íntegramente con resina virgen de polipropileno, destinada particularmente como refuerzo secundario en el concreto. Siendo su función principal controlar el agrietamiento por retracción plástica por secado y por asentamiento (Sika, 2025). Presentando las siguientes características o ventajas:

- Manejo simple, facilidad de trabajo.
- Reduce el agrietamiento por retracción plástica.
- Proporciona refuerzo multidimensional.
- Contribuye a incrementar la resistencia al impacto, rotura y abrasión del concreto.
- Reduce la exudación.
- Reduce el daño por ciclos hielo - deshielo.
- Excelente terminación a la vista.

- Mayor durabilidad.
- Reducción de desprendimiento en caso de incendio.

2.2.2.3.2. Microfibra de polipropileno FIBRA ZPP

Es un aditivo para concreto que consiste en microfibras sintéticas de polipropileno. Estas fibras se añaden a la mezcla de concreto para reforzarlo y reducir la fisuración por contracción plástica y por temperatura en las primeras horas de fraguado. Además, mejora la resistencia a la abrasión, al impacto y a la fatiga en las estructuras. (Z aditivos, 2022). Teniendo las siguientes características:

- Incrementa la resistencia a la flexión.
- Reduce la fisuración por retracción plástica.
- De fácil dosificación e integración en las mezclas de concreto.
- Minimiza el efecto spalling en concretos sometido a altas temperaturas.
- Mejora las resistencias a la abrasión, impacto y fatiga en las estructuras.

2.3. Definición de términos básicos

- **Concreto:** Se compone principalmente de la combinación de cemento, agregados (arena, piedra o grava) y agua, el cual es maleable en su estado fresco y, al fraguar y endurecer es similar a una roca, a dicha mezcla también se le puede agregar aditivos o fibras (NTP 339.047, 2019).
- **Fibras sintéticas:** Filamentos de diámetro pequeño, son específicamente diseñada para el concreto, se fabrican de materiales artificiales que pueden resistir el medio alcalino del concreto antes o durante la operación de mezclado. (National Ready Mixed Concrete Association, 2020).
- **Fibra ZPP:** Microfibra sintética de polipropileno, orientada al refuerzo del concreto. Reduce la fisuración por retracción plástica dentro de las primeras horas de vaciado, también reduce el efecto de spalling producido por altas temperaturas (Z aditivos, 2022).

- **Resistencia a la compresión:** Se define como la capacidad del concreto para soportar cargas de compresión sin fallar, medida en función del esfuerzo máximo que puede resistir una probeta cilíndrica estándar bajo carga axial (NTP 339.034, 2021).
- **Resistencia a la flexión:** Es la propiedad mecánica del concreto para resistir deformaciones por flexión antes de fallar, expresada mediante el módulo de rotura (Neville, 1995/2013).
- **SikaFiber®1225 PPM:** Es una microfibra sintética elaborado con 100 % de resina virgen de polipropileno monofilamento, usada principalmente en el concreto como refuerzo secundario y diseñada para controlar el agrietamiento producido por retracción plástica (Sika, 2025).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación de la investigación

3.1.1. Ubicación geográfica de la investigación

Se realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca (UNC), en el distrito, provincia y región de Cajamarca, ubicado según las coordenadas que se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13

Coordenadas del laboratorio de ensayo de materiales de la facultad de ingeniería – UNC

Coordenadas			
UTM WGS84-17S		Geográficas	
Este	Norte	Latitud	Longitud
776623.00	9207000.00	7°10'2.34"	78°29'43.40"

Nota. Obtenido de Google Earth Pro.

Figura 6

Laboratorio de ensayo de materiales de la facultad de ingeniería – UNC



Nota. Obtenido de Google Earth Pro, 2025.

3.1.2. Ubicación geográfica de la cantera de agregados

Los agregados son procedentes de la cantera “Hermanos Alaya”, los cuales son extraídos del río Mashcon, en el distrito, provincia y región de Cajamarca, ubicado según las coordenadas que se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14

Coordenadas de la cantera de agregados provenientes del río Mashcon

Coordenadas			
UTM WGS84-17S		Geográficas	
Este	Norte	Latitud	Longitud
779876.00	9204992.00	7°11'7.02"	78°27'57.31"

Nota. Obtenido de Google Earth Pro.

Figura 7

Ubicación de la cantera de agregados provenientes del río Mashcon



Nota. Obtenido de Google Earth Pro, 2025.

3.2. Tiempo o época en el que se realizó la investigación

Los ensayos se efectuaron entre los meses de junio y agosto del año 2025, donde se presenta una temporada seca, de escasas precipitaciones.

3.3. Metodología

3.3.1. Tipo, nivel, diseño y enfoque de la investigación

3.3.1.1. Tipo

Aplicada, porque busca solucionar un problema, enfocándose en analizar la variación de la resistencia mecánica de un concreto tradicional cuando se adiciona fibras sintéticas.

3.3.1.2. Nivel

Correlacional, porque se buscó la relación del tipo y dosificación de fibra sintética con la resistencia mecánica del concreto.

3.3.1.3. Diseño

Experimental, pues se realizó la manipulación de las variables independientes (SikaFiber®1225 PPM y FIBRA ZPP) para evaluar el efecto causado sobre las variables dependientes (resistencia a la compresión y resistencia a la flexión), mediante ensayos en laboratorio, en un concreto diseñado con resistencia $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

3.3.1.4. Enfoque

Se utilizó el método cuantitativo, dado que los resultados se presentaron como valores numéricos, permitiendo determinar la variación de la resistencia mecánica del concreto cuando se le adicionó diferentes dosificaciones de SikaFiber® 1225 PPM y FIBRA ZPP.

3.3.2. Variables

- Variables Independientes: SikaFiber® 1225 PPM y FIBRA ZPP
- Variables Dependientes: Resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

3.3.3. Población de estudio

Compuesta por las probetas elaboradas con un concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

3.3.4. Muestra

Por tratarse de un estudio científico, se consideró un muestreo probabilístico. Para establecer el tamaño de la muestra se recurrió a la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

Z_{α} = Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza

p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

q = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

e = Error de estimación máximo aceptado

Los valores que propone el investigador son:

Para un nivel de confianza (NC) del 90%, $Z_{\alpha} = 1.645$. Con margen de error de 10 % y $p = 0.5$ (elegido por representar la máxima variabilidad al no contar con datos de referencia).

$p = 50\%$, $q = 50\%$ y $e = 10\%$

Reemplazando en la fórmula:

$$n = \frac{1.645^2 * 0.5 * 0.5}{0.1^2}$$

$$n = 67.651 \cong 70 \text{ muestras}$$

Se obtiene un valor aproximado:

$$n = 70 \text{ muestras}$$

El total de las muestras es de 70, de las cuales 35 son muestras cilíndricas y 35 muestras prismáticas.

Tabla 15*Número de muestras*

Tipo de concreto	Dosificación de fibras	Edad	Resistencia a compresión	Resistencia a flexión
			Nº muestras	Nº muestras
Concreto patrón	0.0 kg/m³	28 días	5	5
Concreto con adición de SikaFiber®1225 PPM	0.5 kg/m³	28 días	5	5
	0.7 kg/m³		5	5
	0.9 kg/m³		5	5
Concreto con adición de FIBRA ZPP	0.4 kg/m³	28 días	5	5
	1.2 kg/m³		5	5
	2.0 kg/m³		5	5
Sub Total			35	35
Total			70	

3.3.5. Unidad de análisis

Es la resistencia a compresión y resistencia a flexión del concreto patrón y cuando se adiciona SikaFiber® 1225 PPM y FIBRA ZPP en diferentes dosificaciones.

3.3.6. Unidad de Observación

Son los especímenes cilíndricos (15 cm x 30 cm) y prismáticos (15 cm x 15 cm x 50 cm) que son parte de la muestra.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos y presentación de resultados**3.4.1. Técnicas**

- Observación directa: Durante la preparación y curado de los especímenes, se verificó que todos los procedimientos se ejecutaran en un entorno con parámetros uniformes.
- Estudio experimental: Se realizó ensayos de resistencia a compresión y flexión con diferentes dosificaciones de SikaFiber® 1225 PPM y FIBRA ZPP por m³ de concreto.

3.4.2. Instrumentos

Formatos, en los cuales se registró los datos obtenidos de los distintos ensayos realizados.

Máquinas de ensayo a compresión y a flexión, donde se determinó la resistencia mecánica de los especímenes de concreto fueron las. Para medir las diferentes dosificaciones de fibras se utilizó una balanza digital. Además, se usaron los aparatos y equipos que indica la normativa para cada tipo de ensayo realizado.

3.5. Equipos y materiales

3.5.1. Equipos

- Balanza digital de capacidad de lectura mínima de 1 g y máxima de 30 kg.
- Tamices normalizados de 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°12, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200.
- Horno eléctrico con termostato.
- Recipientes cilíndricos metálicos con dimensiones de 14.7 cm de diámetro por 18.7 cm de altura y de 20.3 cm de diámetro por 23.8 cm de altura.
- Cucharón metálico.
- Picnómetro de 500 cm³.
- Molde metálico (tronco de cono) de diámetro interno en la parte superior 40 mm y 90 mm en la parte inferior y 75 mm de altura.
- Barra compactadora de metal de 340 gramos de masa y con una cara plana circular de apisonamiento de 25 mm.
- Canasta de alambre de 3.35 mm (N° 6), con capacidad de 4 a 7 litros.
- Máquina de Los Ángeles.
- 11 esferas de acero con un diámetro entre 46 mm y 48 mm, y un peso de 4588 gramos en total.

- Moldes metálicos cilíndricos de 15 cm x 30 cm.
- Moldes metálicos prismáticos de 15 cm x 15 cm x 50 cm.
- Varilla lisa de acero de diámetro 16 mm (5/8 pulg) y longitud de 600 mm (24 pulg) con extremos redondeados a una punta semi esférica.
- Martillo de goma de 0.6 kg.
- Cono de Abrams.
- Máquina mezcladora de concreto.
- Pala pequeña.
- Wincha de 5 metros.
- Plancha de batir y badilejo.
- Máquina de ensayo a compresión.
- Almohadillas de neopreno.
- Regla metálica de 30 cm.
- Vernier.
- Máquina de ensayo a flexión.
- Aparatos de carga.
- Deformímetro.

3.5.2. *Materiales*

- Cemento Pacasmayo tipo I.
- Agregado fino y grueso procedentes del río Mashcon.
- SikaFiber® 1225 PPM.
- FIBRA ZPP.
- Agua.

3.6. Procedimiento de los ensayos de la investigación

Se tomó material de la cantera de acuerdo a la NTP 400.010, posteriormente en el Laboratorio se realizó un cuarteo según la NTP 400.043 con el fin de reducir las al tamaño requerido para los ensayos.

3.6.1. Ensayo de propiedades físicas de los agregados

3.6.1.1. Ensayo de granulometría del agregado fino y grueso

a. Norma

NTP 400.012.

b. Procedimiento

- Se colocó a secar 2.0 kg de agregado fino y 6.0 kg de agregado grueso al horno a una temperatura de 110 °C por 24 horas.
- Se ordenó los tamices correspondientes para cada agregado, posteriormente se agregó la muestra y agitó de forma manual.
- Se anotó los pesos retenidos en cada tamiz y en la cazoleta.

c. Tamaño máximo nominal

Corresponde a la abertura de tamiz más pequeño que contiene un porcentaje retenido entre el 5 % y 10 % de la muestra.

d. Cálculo del módulo de finura

$$MF = \frac{\% \text{ Ret. acum. } (3, 1 \frac{1}{2}, 3/4", 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

3.6.1.2. Peso unitario suelto del agregado fino y grueso

a. Norma

NTP 400.017.

b. Procedimiento

- Se colocó a secar 8.0 kg de agregado fino y 15.0 kg de agregado grueso en el horno a 110°C por 24 horas.
- Una vez seco y a temperatura ambiente se procedió a llenar el recipiente con agregado, a una altura menor de 50 mm medida desde el borde del recipiente, hasta que reboce.
- Se niveló con una espátula, equilibrando los espacios en la superficie con la proyección de las partículas grandes del agregado.
- Se determinó el peso del recipiente lleno, así como también vacío.

c. Cálculo

$$PUS = \frac{M_t - M_r}{V}$$

Donde:

PUS = Peso unitario suelto, kg/m³

M_t = Peso de recipiente y muestra suelta, kg

M_r = Peso de recipiente, kg

V = Volumen del recipiente, m³

Para calcular el volumen del recipiente, se llenó el recipiente con agua y se colocó una placa de vidrio en la parte superior para retirar las burbujas de aire, además se registró la temperatura para obtener la densidad del agua de acuerdo a la Tabla 31. El volumen se calculó con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{(W - M)}{D}$$

Donde:

V = Volumen del recipiente, m³

W = Peso del agua, placa de vidrio, y recipiente, kg

M = Peso de la placa de vidrio y recipiente, kg

D = Densidad del agua para la temperatura medida, kg/m³

3.6.1.3. Ensayo de peso unitario compactado del agregado fino y grueso

a. Norma

NTP 400.017.

b. Procedimiento

- Se secó 8.0 kg de agregado fino y 15.0 kg de agregado grueso en el horno a 110 °C por 24 horas.
- Se llenó el recipiente a un tercio de su volumen, se niveló el agregado y se procedió al apisonado con la varilla lisa de acero, aplicando 25 golpes de forma distribuida, evitando golpear el fondo del recipiente. Lo mismo se realizó con la segunda capa.
- En la última capa se sobre llenó el recipiente, apisonó y niveló, equilibrando los vacíos en la superficie con la proyección de las partículas grandes del agregado.
- Se pesó el recipiente lleno.

c. Cálculo

$$PUC = \frac{M_t - M_r}{V}$$

Donde:

PUC = Peso unitario compactado, kg/m³

M_t = Peso de recipiente y muestra compactada, kg

M_r = Peso de recipiente, kg

V = Volumen del recipiente, m³

3.6.1.4. Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino

a. Norma

NTP 400.022.

b. Procedimiento

- Se colocó a secar 700 g de agregado fino en el horno a 110 °C por 24 horas.
Se pasó por el tamiz con abertura de 9.50 mm (3/8”) y se rechazó lo retenido.
- Se sumergió en agua la muestra y se dejó reposar por 24 horas,
- Se retiró el agua, extendió y se aplicó aire caliente con una secadora, hasta que se logró el estado de saturada superficialmente seca (SSS).
- Se realizó la prueba del cono, llenando hasta el tope y aplicando 25 golpes con la barra compactadora. La ligera caída del agregado fino indicó que se ha logrado la condición de SSS.
- Se pesó el picnómetro vacío y con 500 cm³ de agua a 21 °C. Se redujo a la mitad de agua para agregar 500 gramos de agregado fino SSS.
- Se llenó con agua hasta un 90% y se procedió agitar y rodar hasta retirar las burbujas, se reguló la temperatura del picnómetro realizando una inmersión en agua hasta lograr 21 °C y se anotó el peso total.
- Se retiró del picnómetro y se llevó al horno a 110 °C por 24 horas, registrando el peso final.

c. Cálculo

- **Peso específico de masa**

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{B + S - C}$$

- **Peso específico de masa saturada superficialmente seca**

$$\text{Peso específico SSS} = \frac{S}{B + S - C}$$

- **Peso de específico aparente**

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

- **Absorción**

$$\text{Absorción, \%} = 100 * \frac{S - A}{A}$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca al horno, g

B = Peso del picnómetro más agua hasta la marca de calibración, g

C = Peso del picnómetro más muestra y agua hasta la marca de calibración, g

S = Peso de la muestra saturada superficialmente seca, g

3.6.1.5. Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso

a. Norma

NTP 400.021.

b. Procedimiento

- Se pasó agregado grueso por el tamiz de 4.75 mm (N° 4) para rechazar el material pasante.
- Se dejó 3.5 kg de muestra sumergida en agua por 24 horas.
- Se retiró el agregado del agua y se colocó en un trapo absorbente, rodándolo hasta eliminar las partículas visibles de agua y obtener un agregado saturado superficialmente seco (SSS).
- Se pesó una muestra SSS mayor a 3 kg, se colocó en la canastilla y se sumergió en el balde con una cantidad suficiente de agua para determinar su peso aparente. Agitando se eliminó todas las burbujas de aire antes de registrar el peso.
- Se procedió al secado de la muestra en horno a temperatura de 110 °C por un periodo de 24 horas, anotando el peso obtenido al finalizar el proceso.

c. Cálculo

- **Peso específico de masa**

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

- **Peso específico de masa saturada superficialmente seca**

$$\text{Peso específico SSS} = \frac{B}{B - C}$$

- **Peso de específico aparente**

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

- **Absorción**

$$\text{Absorción, \%} = 100 * \frac{B - A}{A}$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca al horno, g

B = Peso de la muestra de ensayo de superficie saturada seca, g

C = Peso aparente de la muestra de ensayo saturada en agua, g

3.6.1.6. Ensayo de contenido de humedad de agregado fino y grueso

a. Norma

NTP 339.185.

b. Procedimiento

- Se tomó una muestra de agregado fino y grueso en su condición natural y se registró el peso.
- Se ingresó en el horno, manteniéndola a 110 °C por 24 horas.
- Se extrajo la muestra del horno tras el secado, se permitió su enfriamiento y se anotó el peso obtenido.

c. Cálculo

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

Donde:

P = Contenido total de humedad evaporable de la muestra en porcentaje, %

W = Peso de la muestra húmeda original, g

D = Peso de la muestra seca, g

3.6.1.7. Ensayo de porcentaje de material más fino en agregado fino y grueso

a. Norma

NTP 400.018.

b. Procedimiento

- Se colocó 500 g de agregado fino y 2500 g de agregado grueso en el horno a 110 °C por 24 horas.
- Se pasó cada muestra de agregado por el tamiz N° 16, colocando el tamiz N° 200 (75 mm) en la parte inferior, se agitó vigorosamente la muestra y se agregó agua para separar las partículas más finas.
- Se volvió a repetir el lavado varias veces, hasta que el agua salió limpia.
- Se secó el material retenido en los tamices en el horno a 110 °C por 24 horas, se anotó el peso de la muestra seca.

c. Cálculo

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

Donde:

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

P_1 = Peso seco de la muestra original, g

P_2 = Peso seco de la muestra luego del lavado, g

3.6.2. Ensayo de la propiedad mecánica del agregado grueso

3.6.2.1. Ensayo de la resistencia a la degradación por abrasión e impacto

a. Norma

NTP 400.019.

b. Procedimiento

- Se ordenó los tamices con abertura de 3/8 pulg, 1/2 pulg y 3/4 pulg en orden ascendente y se tamizó el agregado grueso, al obtener gradación B se tomó 2500 g de material retenido en el tamiz de 1/2 pulg y 2500 g de material retenido en el tamiz de 3/8 pulg.
- Al tener gradación B, se utilizó 11 esferas de acero con un peso de 4588 g.
- Se colocó los 5000 g de agregado en la máquina de Los Ángeles junto con las esferas de acero, a una velocidad de 33 rpm por 500 revoluciones.
- Se descargó el agregado y se pasó por el tamiz N° 12, el material retenido se lavó y secó en el horno a 110 °C por 24 horas y se anotó el peso final.

c. Cálculo

$$\text{Abrasión, \% Desgaste} = \frac{C - Y}{C} * 100$$

Donde:

C = Peso original de la muestra de ensayo, g

Y = Peso final de la muestra de ensayo, g

3.6.3. Diseño de mezcla

Fue realizado mediante el método del módulo de fineza de la combinación de agregados. Con el fin de obtener un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y una consistencia plástica (asentamiento entre 3" y 4").

3.6.3.1. Propiedades de los materiales para el diseño de mezcla

a. Cemento

Se utilizó cemento Tipo I de la marca Pacasmayo para la elaboración de las muestras de concreto. El cual tiene una densidad de 3.11 g/cm^3 .

b. Agua

El agua utilizada para la mezcla y curado de las muestras de concreto fue del laboratorio, al ser agua potable cumplió con los requerimientos de la NTP 339.088.

c. Agregados

Se usó agregados de la cantera “Hermanos Alaya”, de los cuales se obtuvo sus propiedades de acuerdo a las normas técnicas peruanas.

3.6.3.2. Procedimiento para el diseño de mezcla

- 1° Se definió las especificaciones requeridas para el concreto.
- 2° Se eligió la resistencia a compresión de diseño especificada.
- 3° Se determinó la resistencia promedio requerida (f'_{cr}).
- 4° Se seleccionó el tamaño máximo nominal (TMN).
- 5° Se seleccionó el asentamiento según el tipo de consistencia deseada.
- 6° Se determinó el volumen unitario de agua.
- 7° Se seleccionó el contenido de aire atrapado.
- 8° Se estimó la relación agua/cemento (a/c).
- 8° Se determinó el factor cemento (FC).
- 9° Se estimó el volumen absoluto de pasta.
- 10° Se cuantificó el volumen absoluto de los agregados por m^3 .
- 11° Se determinó el módulo de fineza de la combinación de agregados (mc).
- 12° Se determinó el porcentaje de agregado fino y grueso.
- 13° Se calculó el volumen absoluto de cada agregado.
- 14° Se determinó el peso seco de agregado fino y grueso.

15° Se determinó los valores de diseño de los materiales.

16° Se corrigió por humedad los agregados.

17° Se calculó el aporte de humedad de los agregados.

18° Se calculó el agua efectiva de mezcla.

19° Se determinó los materiales corregidos por humedad por m^3 .

20° Se definió las proporciones en peso de los materiales por m^3 .

21° Se calculó los pesos por tanda de mezcla.

3.6.3.3. Procedimiento para realizar el diseño de mezcla preliminar

Para obtener los valores del diseño definitivo de mezcla se realizó un diseño preliminar, seleccionando una relación a/c únicamente por resistencia. Teniendo una relación a/c de 0.56 para un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Se preparó una tanda para tres (3) muestras cilíndricas que fueron ensayadas a los 7 días de curado.

3.6.3.4. Resultado de las muestras preliminares

En la Tabla 16 se presentan los valores obtenidos de la resistencia a compresión de las muestras preliminares o de prueba a los 7 días de curado, que sirvieron para proyectar la resistencia a los 28 días y poder ajustar el diseño de mezcla.

Tabla 16

Resistencia a compresión de muestras preliminares

Muestra	Edad (días)	Carga Última (tn)	Diámetro promedio (cm)	Área (cm ²)	F'c (kg/cm ²)	F'c promedio (kg/cm ²)	% F'c = 210kg/cm ²
MP-01	7	38.50	15.15	180.27	213.57	229.74	109.40 %
MP-02		44.00	15.10	179.08	245.70		
MP-03		42.00	15.25	182.65	229.94		

Como se aprecia en la Tabla 16, a los 7 días se superó la resistencia de diseño (109.40%), con una relación a/c = 0.56. Para proyectar la resistencia a los 28 días, se multiplicó por un factor de 1.4 la resistencia a compresión promedio obtenida en el día 7, resultando 321.64

kg/cm². Con dicha información se procedió a reajustar el diseño de mezcla utilizando la Ley de Powers, para encontrar la relación ideal a/c que permita obtener la resistencia requerida en el diseño.

$$R = 2380X^3$$

$$X = \frac{0.647(\alpha)}{0.319(\alpha) + a/c}$$

Donde:

R = Resistencia a compresión, kg/cm²

X = Relación gel/espacio

α = Grado de hidratación

a/c = Relación agua-cemento

Remplazando valores en la fórmula:

$$\sqrt[3]{\frac{321.64}{2380}} = \frac{0.647(\alpha)}{0.319(\alpha) + 0.56}$$

$$\alpha = 0.595$$

Finalmente, teniendo el grado de hidratación del cemento y deseando obtener un $f'c=210$ kg/cm², se calculó la nueva relación a/c.

$$\sqrt[3]{\frac{210}{2380}} = \frac{0.647(0.595)}{0.319(0.595) + \frac{a}{c}}$$

$$a/c = 0.67$$

3.6.4. *Elaboración de muestras de concreto*

a. Normas

NTP 339.183 y NTP 339.035.

b. Procedimiento

- Se humedeció previamente con agua la máquina de mezclado.

- Se determinó la cantidad de cada material para una tanda de 0.03 m³.
- Se agregó los materiales a la maquina en el siguiente orden: agregado grueso, una parte del agua de mezcla, agregado fino, cemento y el agua faltante. En el caso de las tandas con adición de fibra, se agregó al final de manera progresiva para una distribución homogénea.
- Se realizó la prueba del asentamiento con el cono de Abrams, en el cual se vertió la mezcla en tres capas, varillando cada capa 25 veces, se retiró el cono y se midió el asentamiento de la mezcla.
- Se vertió la mezcla en tres capas en los moldes cilíndricos, cada capa se varilló 25 veces para la consolidación y se golpeó 15 veces con el martillo de goma para eliminar las burbujas grandes de aire atrapadas.
- En los moldes prismáticos se vertió en dos capas, se varilló 54 veces cada capa y se golpeó 15 veces con el martillo de goma para eliminar las burbujas grandes de aire atrapadas.

3.6.5. Densidad (Peso unitario) del concreto fresco

a. Norma

NTP 339.046.

b. Procedimiento

- Se tomó una muestra de concreto fresco y se llenó hasta un tercio del volumen del recipiente metálico ($V_{\text{recipiente}} = 9.84 \text{ lt}$), se apisonó aplicando 25 golpes con la barra compactadora de manera uniforme, se golpeó 15 veces alrededor del recipiente con el martillo de goma.
- Se procedió a realizar el paso anterior en las siguientes dos capas, introduciendo la varilla 1 pulgada en la capa inferior.
- Se alisó y terminó suavemente la superficie del concreto.

- Se quitó el concreto excedente y se procedió a pesar.

c. Cálculo

$$D = \frac{P_t - P_r}{V_r}$$

Donde:

D = Densidad (peso unitario) del concreto, kg/m³

P_t = Peso del recipiente de medida lleno de concreto, kg

P_r = Peso del recipiente de medida vacío, kg

V_r = Volumen del recipiente de medida, m³

3.6.6. Curado de muestras de concreto

a. Norma

NTP 339.183.

b. Procedimiento

- Al siguiente día de la elaboración de las muestras de concreto, pasado 24 h, se desmoldó los especímenes.
- Se llevó las muestras a la poza de curado, donde se dejó sumergidas en su totalidad en agua durante 28 días.

3.6.7. Ensayo de resistencia a compresión

a. Norma

NTP 339.034.

b. Procedimiento

- Se retiró las muestras prismáticas de la poza de curado a los 28 días.
- Se midió el diámetro y altura y se registró su peso de cada probeta.
- Se colocó las almohadillas de neopreno en los extremos de la probeta y se centró con las platinas de carga.

- Se instaló el deformímetro para realizar lecturas de la deformación cada dos toneladas.
- Se sometió el espécimen a carga de compresión hasta que mostró un patrón de falla bien definido y se anotó la carga última.

c. Cálculo

$$f'c = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A_c}$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia a compresión del concreto, kg/cm²

$P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima aplicada, kg

A_c = Área transversal de la muestra cilíndrica, cm²

3.6.8. Ensayo de resistencia a flexión

a. Norma

NTP 339.078

b. Procedimiento

- Se retiró las muestras prismáticas de la poza de curado a los 28 días.
- Se midió el ancho, altura y se marcó los puntos de apoyo con una distancia entre sí de 45 cm.
- Se giró sobre uno de sus lados respecto a la posición de moldeado, se centró y alineó con los bloques de apoyo y con el sistema de carga.
- Se instaló el deformímetro para realizar lecturas de la deformación cada 200 kg y se aplicó la carga hasta producir la rotura de la viga.

c. Cálculo

Debido a que las fallas ocurrieron en el tercio medio de la luz, se usó la siguiente fórmula:

$$M_r = \frac{P * L}{b * h^2}$$

Donde:

M_r = Módulo de rotura, kg/cm²

P = Carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo, kg

L = Luz libre entre apoyos, cm

b = Ancho promedio de la viga en la sección de falla, cm

h = Altura promedio de la viga en la sección de falla, cm

3.7. Tratamiento, análisis de datos y presentación de resultados

3.7.1. Tratamiento de datos

Con los datos recogidos de los ensayos se organizó y proceso mediante el programa Microsoft Excel, aplicando las fórmulas establecidas en las bases teóricas y en las normas correspondientes a cada procedimiento, con el fin de realizar el análisis posterior.

3.7.2. Análisis de datos

Con los datos obtenidos de las resistencias a compresión y flexión se realizó un análisis estadístico descriptivo el cual permitió organizar y presentar la información de manera entendible, aplicando la media, rango muestral, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación con el propósito de caracterizar el comportamiento de los datos.

3.7.3. Presentación de resultados

Los resultados se presentan a través de tablas y figuras, lo que permite brindar información precisa, concisa y fácil de analizar e interpretar.

3.7.3.1. Resultado de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados

Tabla 17*Propiedades del agregado fino y grueso*

Propiedades	Unidad	Agregado fino	Agregado grueso
Tamaño máximo nominal	pulg	---	3/4"
Peso específico de masa	g/cm ³	2.59	2.70
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	g/cm ³	2.62	2.73
Peso específico aparente	g/cm ³	2.67	2.78
Peso unitario suelto	kg/m ³	1579.87	1452.19
Peso unitario compactado	kg/m ³	1720.16	1551.48
Contenido de humedad	%	4.63	1.69
Absorción	%	1.14	1.08
Módulo de finura	---	2.85	6.80
Abrasión	%	---	28.76
Porcentaje que pasa malla N°200	%	2.83	0.31

Tabla 18*Distribución granulométrica del agregado fino - NTP 400.012*

Peso seco inicial:		1500.00 g
Tamiz		Porcentaje que pasa
Malla	Abertura (mm)	
3/8"	9.50	100.00
N°4	4.75	96.00
N°8	2.36	84.93
N°16	1.18	74.87
N°30	0.60	47.53
N°50	0.30	9.53
N°100	0.15	2.53
N°200	0.075	1.00
Cazoleta	---	0.53

Tabla 19*Distribución granulométrica del agregado grueso - NTP 400.012*

Peso seco inicial:		5000.00 g
Tamiz		Porcentaje que pasa
Malla	Abertura (mm)	
1"	25.00	100.00
3/4"	19.00	98.08
1/2"	12.50	48.12
3/8"	9.50	22.04
N°4	4.75	0.20
N°8	2.36	0.04
Cazoleta	---	0.00

3.7.3.2. Resultado del diseño de mezcla**Tabla 20***Materiales para un metro cúbico de concreto*

Material	Unidad	Cantidad
Cemento	kg	305.97
Agua de diseño	lt	205.00
Agregado fino seco	kg	842.25
Agregado grueso seco	kg	946.63

Tabla 21*Materiales corregidos por humedad para un metro cúbico de concreto*

Material	Unidad	Cantidad
Cemento	kg	305.97
Agua efectiva	lt	169.84
Agregado fino húmedo	kg	881.25
Agregado grueso húmedo	kg	962.63

Tabla 22*Materiales por metro cúbico de concreto patrón y concreto con adición de fibras*

Material	Unidad	Tipo de concreto						
		Patrón	Con adición de FIBRA ZPP			Con adición de SikaFiber® 1225 PPM		
Cemento	kg	305.97	305.97	305.97	305.97	305.97	305.97	305.97
Agua efectiva	lt	169.84	169.84	169.84	169.84	169.84	169.84	169.84
Agregado fino húmedo	kg	881.25	881.25	881.25	881.25	881.25	881.25	881.25
Agregado grueso húmedo	kg	962.63	962.63	962.63	962.63	962.63	962.63	962.63
Adición de fibra	kg	0.00	0.40	1.20	2.00	0.50	0.70	0.90

3.7.3.3. Resultado de las propiedades del concreto en estado fresco**a. Resultados de asentamiento o slump del concreto en estado fresco****Tabla 23***Asentamiento o slump del concreto patrón y con adición de fibras*

Tipo de concreto	Dosificación de fibra	Asentamiento		Variación porcentual
		pulg	cm	
Concreto patrón	0.0 kg/m ³	4.0"	10.16	-
Concreto con adición de FIBRA ZPP	0.4 kg/m ³	3.5"	8.89	-12.50 %
	1.2 kg/m ³	3.0"	7.62	-25.00 %
	2.0 kg/m ³	2.0"	5.08	-50.00 %
Concreto con adición de SikaFiber®1225 PPM	0.5 kg/m ³	3.3"	8.38	-17.50 %
	0.7 kg/m ³	2.8"	7.11	-30.00 %
	0.9 kg/m ³	2.25"	5.72	-43.75 %

b. Resultados del peso unitario del concreto en estado fresco

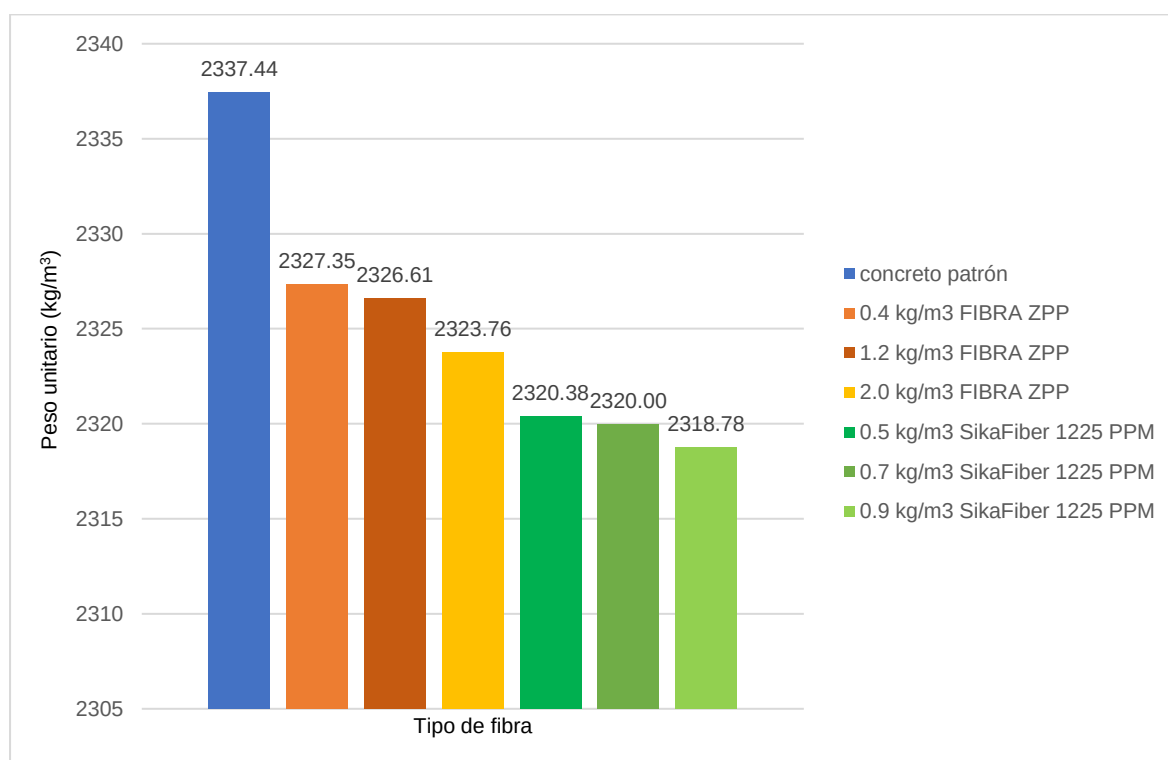
Tabla 24

Peso unitario del concreto patrón y con adición de fibras en estado fresco

Tipo de concreto	Dosificación de fibra (kg/m ³)	Peso unitario promedio (kg/m ³)	Variación porcentual
Concreto patrón	0.0	2337.44	-
Concreto con adición de FIBRA ZPP	0.4	2327.35	-0.43 %
	1.2	2326.61	-0.46 %
	2.0	2323.76	-0.59 %
Concreto con adición de SikaFiber®1225 PPM	0.5	2320.38	-0.73 %
	0.7	2320.00	-0.75 %
	0.9	2318.78	-0.80 %

Figura 8

Peso unitario de los diferentes tipos de concreto en estado fresco



3.7.3.4. Resultado de las propiedades del concreto en estado endurecido

a. Resultados del peso unitario del concreto en estado endurecido

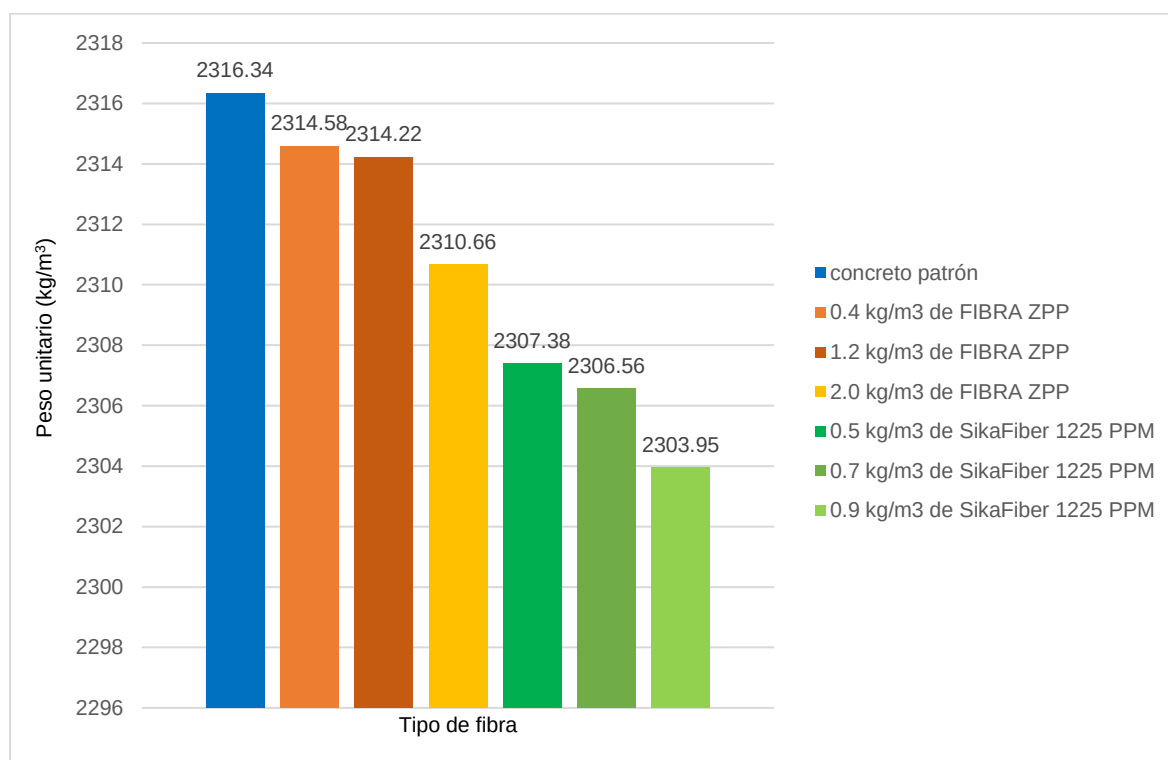
Tabla 25

Peso unitario del concreto patrón y con adición de fibras en estado endurecido

Tipo de concreto	Dosificación de fibra (kg/m ³)	Peso unitario promedio (kg/m ³)	Variación porcentual
Concreto patrón	0.0	2316.34	-
Concreto con adición de FIBRA ZPP	0.4	2314.58	-0.08 %
	1.2	2314.22	-0.09 %
	2.0	2310.66	-0.25 %
Concreto con adición de SikaFiber® 1225 PPM	0.5	2307.38	-0.39 %
	0.7	2306.56	-0.42 %
	0.9	2303.95	-0.54 %

Figura 9

Peso unitario de los diferentes tipos de concreto en estado endurecido



b. Resultados de resistencia a compresión en especímenes cilíndricos

Tabla 26

Resistencia a la compresión del concreto patrón y con adición de FIBRA ZPP

Tipo de concreto	Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	F'c (kg/cm ²)	Tipo de fractura	F'c promedio (kg/cm ²)	Variación porcentual
Concreto patrón	0.0 kg/m ³	MP-01	28	300.34	6	296.87	-
		MP-02		294.98	5		
		MP-03		295.64	5		
		MP-04		297.59	5		
		MP-05		295.81	5		
Concreto con adición de FIBRA ZPP	0.4 kg/m ³	MA-01	28	331.79	6	337.70	13.75 %
		MA-02		333.41	5		
		MA-03		344.91	6		
		MA-04		341.68	6		
		MA-05		336.70	6		
	1.2 kg/m ³	MB-01	28	329.46	3	329.07	10.85 %
		MB-02		324.52	6		
		MB-03		330.65	3		
		MB-04		333.41	5		
		MB-05		327.29	3		
	2.0 kg/m ³	MC-01	28	328.49	6	318.92	7.43 %
		MC-02		306.59	3		
		MC-03		319.63	6		
		MC-04		323.01	6		
		MC-05		316.88	6		

Figura 10

Resistencia a compresión promedio a los 28 días vs adición de FIBRA ZPP

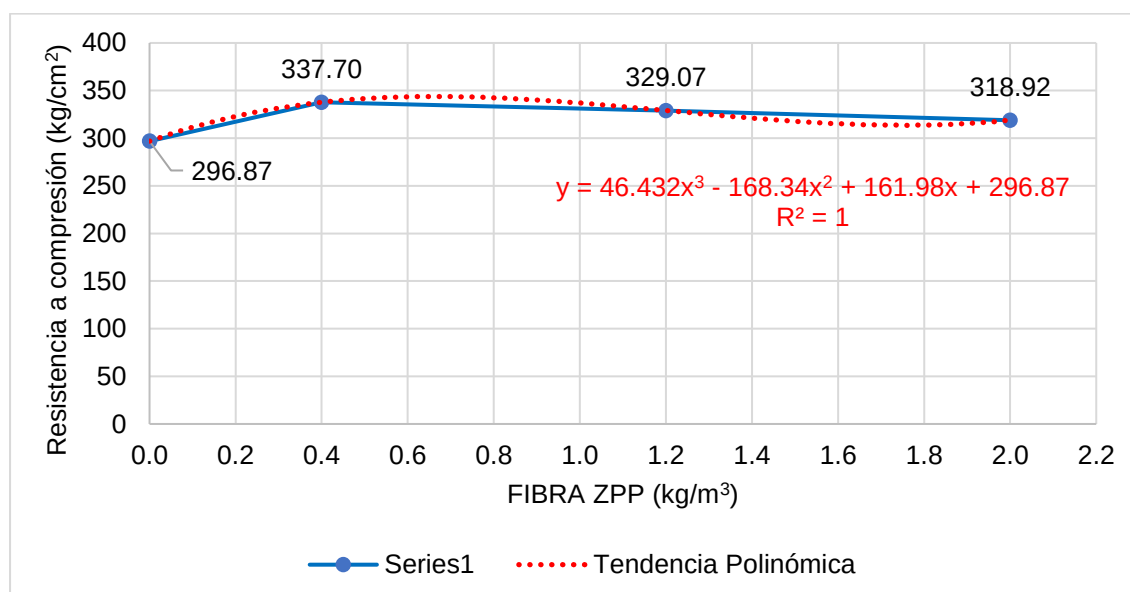


Tabla 27

Resistencia a la compresión del concreto con adición de SikaFiber® 1225 PPM

Tipo de concreto	Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	F'c (kg/cm²)	Tipo de fractura	F'c promedio (kg/cm²)	Variación Porcentual
Concreto patrón	0.0 kg/m³	MP-01	28	300.34	6	296.87	-
		MP-02		294.98	5		
		MP-03		295.64	5		
		MP-04		297.59	5		
		MP-05		295.81	5		
Concreto con adición de SikaFiber® 1225 PPM	0.5 kg/m³	MD-01	28	341.95	6	353.12	18.95 %
		MD-02		368.17	5		
		MD-03		353.54	5		
		MD-04		349.70	5		
		MD-05		352.26	5		
	0.7 kg/m³	ME-01	28	342.80	5	348.80	17.49 %
		ME-02		342.52	5		
		ME-03		358.10	3		
		ME-04		350.63	3		
		ME-05		349.94	5		
	0.9 kg/m³	MF-01	28	334.61	6	335.03	12.85 %
		MF-02		343.48	5		
		MF-03		325.11	6		
		MF-04		340.41	5		
		MF-05		331.53	5		

Figura 11

Resistencia a compresión promedio a los 28 días vs adición de SikaFiber® 1225 PPM

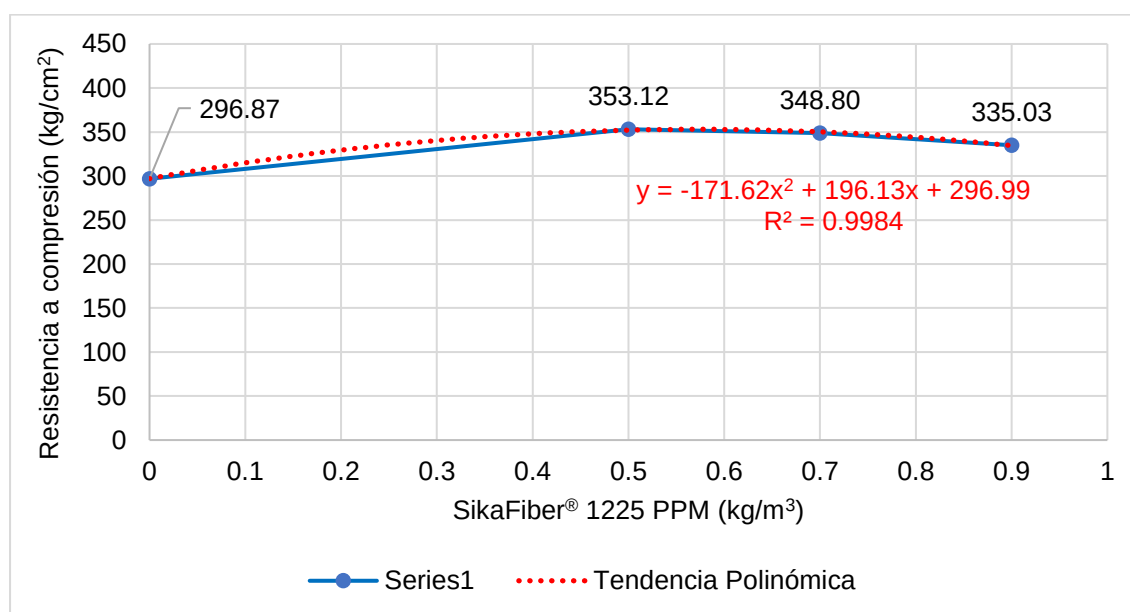


Tabla 28

Resistencia a la flexión del concreto patrón y con adición de FIBRA ZPP

Tipo de concreto	Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Mr Promedio (kg/cm ²)	Variación porcentual
Concreto patrón	0.0 kg/m ³	VP-01	28	38.75	39.00	-
		VP-02		37.58		
		VP-03		39.58		
		VP-04		40.57		
		VP-05		38.51		
Concreto con adición de FIBRA ZPP	0.4 kg/m ³	VA-01	28	46.53	47.37	21.46 %
		VA-02		47.90		
		VA-03		48.86		
		VA-04		47.85		
		VA-05		45.74		
	1.2 kg/m ³	VB-01	28	49.95	48.10	23.33 %
		VB-02		47.75		
		VB-03		48.41		
		VB-04		46.19		
		VB-05		48.21		
	2.0 kg/m ³	VC-01	28	47.25	48.61	24.64 %
		VC-02		49.61		
		VC-03		48.29		
		VC-04		49.91		
		VC-05		48.00		

Figura 12

Módulo de rotura promedio a los 28 días vs adición de FIBRA ZPP

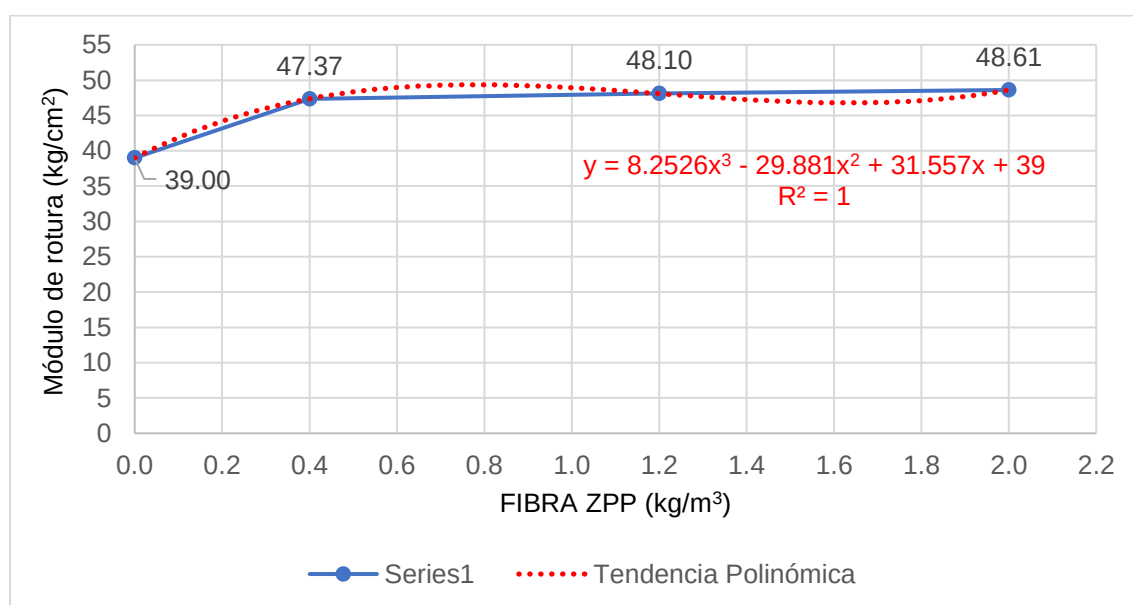


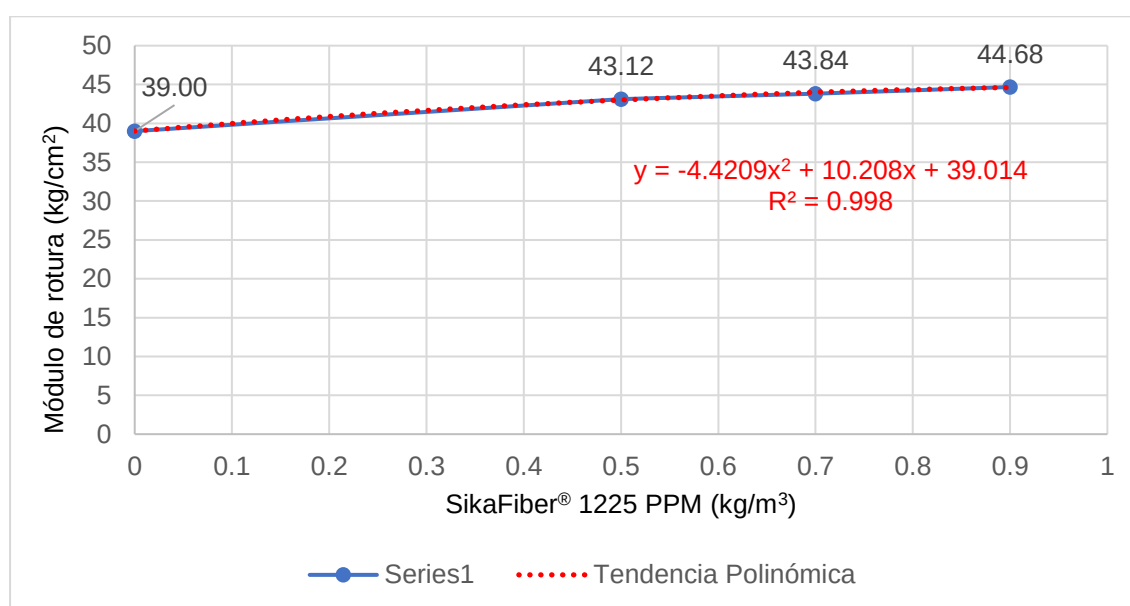
Tabla 29

Resistencia a la flexión de concreto patrón y con adición de SikaFiber® 1225 PPM

Tipo de concreto	Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Mr Promedio (kg/cm ²)	Variación porcentual
Concreto patrón	0.0 kg/m ³	VP-01	28	38.75	39.00	-
		VP-02		37.58		
		VP-03		39.58		
		VP-04		40.57		
		VP-05		38.51		
Concreto con adición de SikaFiber® 1225 PPM	0.5 kg/m ³	VD-01	28	44.31	43.12	10.56 %
		VD-02		43.30		
		VD-03		44.08		
		VD-04		41.25		
		VD-05		42.68		
	0.7 kg/m ³	VE-01	28	43.28	43.84	12.41 %
		VE-02		45.58		
		VE-03		43.43		
		VE-04		43.08		
		VE-05		43.80		
	0.9 kg/m ³	VF-01	28	43.43	44.68	14.56 %
		VF-02		44.36		
		VF-03		44.15		
		VF-04		46.65		
		VF-05		44.82		

Figura 13

Módulo de rotura promedio a los 28 días vs adición de SikaFiber® 1225 PPM



CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis y discusión de resultados de los agregados

4.1.1. Granulometría

En las Tablas 18 y 19 se muestra el porcentaje que pasa en cada tamiz normalizado del agregado fino y grueso respectivamente, las cuales se encuentran dentro de los límites que indica la norma NTP 400.012.

En la Tabla 17 se presenta el módulo de finura (MF) de los agregados, siendo del fino 2.85, cumpliendo con lo indicado en la NTP 400.037, el cual se debe encontrar dentro del rango de 2.3 a 3.1 y se clasificar como una arena media. El agregado grueso presenta un MF de 6.80 y TMN de 3/4" debido a que en este caso el primer porcentaje retenido cercano a 5 % se produce en el tamiz con abertura de 19 mm (3/4").

4.1.2. Peso unitario de los agregados

Se muestra en la Tabla 17, siendo para el agregado fino de 1579.87 kg/m³ en estado suelto y de 1720.16 kg/m³ compactado; por otro lado, para el agregado grueso de 1452.19 kg/m³ en estado suelto y de 1551.48 kg/m³ compactado; evidenciando que el agregado fino tiene mayor peso unitario que el agregado grueso, ya sean suelto o compactado, debido a que el fino permite una mejor reorganización de sus partículas respecto al grueso. Además, en la NTP 400.017 indica que los valores deben estar entre 1200 a 1850 kg/m³, lo cual se verifica que si se cumple.

4.1.3. Peso específico y absorción

De acuerdo a la Tabla 17 el peso específico de masa para el agregado fino es de 2.59 g/cm³ y de 2.70 g/cm³ para el agregado grueso, teniendo mayor valor el agregado grueso. También se presenta el porcentaje de absorción, siendo de 1.14 % para el fino y 1.08 % para el árido grueso. La absorción expresa el agua que se necesita para llenar los poros de las partículas

de los agregados, esto implica que el agua de diseño se debe corregir añadiendo el equivalente a lo que el agregado va a absorber.

4.1.4. *Contenido de humedad*

Se presenta en la Tabla 17, siendo del agregado fino 4.63 % y del agregado grueso 1.69 %. La diferencia de porcentajes se debe a la capacidad que tiene el árido fino de retener agua en la superficie de las partículas en comparación con al árido grueso, siempre teniendo en consideración las condiciones climáticas en donde se encuentra el agregado. Por otro lado, el contenido de humedad indica el aporte de agua de los agregados a la mezcla de concreto, por consecuencia, se debe corregir el agua de diseño restando la cantidad de agua aportada.

4.1.5. *Porcentaje de material fino que pasa el tamiz N°200*

En la Tabla 17 se muestra el porcentaje de material fino presente en los agregados, el cual es de 2.83 % para el agregado fino y 0.31 % para el agregado grueso. Los resultados cumplen con los límites máximos que se presentan en la Tabla 5 y Tabla 6, los cuales son de 5 % para el agregado fino y 1 % para el agregado grueso.

4.1.6. *Abrasión del agregado grueso*

La Tabla 17 muestra un valor de 28.76 % de desgaste del agregado grueso al ser sometido a abrasión en la máquina de Los Ángeles. La NTP 400.019 menciona que el límite máximo que debe presentar un agregado para ser utilizado en una mezcla de concreto es de 50% (Tabla 9), por tanto, el árido grueso cumple con la normativa correspondiente.

4.2. *Análisis y discusión de resultado de la mezcla de concreto*

En las Tablas 20 y 21 se presenta la cantidad de material por metro cubico de concreto para lograr una resistencia de diseño $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, el cual fue diseñado mediante el método de “Módulo de fineza de la combinación de agregados”; en la Tabla 22 se compara los materiales por metro cubico utilizados para el concreto patrón y concreto con adición de fibras, evidenciando que la cantidad de cemento, agua efectiva, agregado fino y grueso se mantiene

para los diferentes tipos de concreto. Esto debido a que, en las fichas técnicas de las fibras utilizadas, se menciona que la adición en las dosificaciones recomendadas no es necesario realizar una modificación del diseño de mezcla inicial.

Es importante señalar que las dosificaciones presentadas no son de uso general, ya que, si se utiliza otros materiales con propiedades diferentes afectará de manera directa en las proporciones del diseño de mezcla de concreto.

4.3. Análisis y discusión de resultados del concreto en estado fresco

4.3.1. Asentamiento o slump

La Tabla 23 muestra los resultados del asentamiento de la mezcla realizada mediante el cono de Abrams, revelando que al incrementar la dosificación de fibra se produce una disminución progresiva del asentamiento y así como también de la trabajabilidad de la mezcla, pasando de una consistencia plástica a una seca. Además, se aprecia que el concreto sin adición de fibras presenta un asentamiento de 4" (10.2 cm), estando dentro del rango requerido por el diseño de mezcla (3" - 4"); la adición de 2 kg/m³ de FIBRA ZPP genera el menor asentamiento de 2" (5.1 cm) y con la adición de 0.9 kg/m³ de SikaFiber® 1225 PPM un valor de 2.25" (5.7cm).

4.3.2. Peso unitario del concreto en estado fresco

Se detalla en la Tabla 24 y Figura 8, donde el concreto patrón registra un peso unitario promedio de 2337.44 kg/m³; la adición de 0.4, 1.2 y 2.0 kg/m³ de FIBRA ZPP un peso unitario promedio de 2327.35, 2326.61 y 2323.76 kg/m³ respectivamente; la adición de 0.5, 0.7 y 0.9 kg/m³ de SikaFiber® 1225 PPM un peso unitario promedio de 2320.38, 2320.00 y 2318.78 kg/m³ respectivamente. Evidenciando una disminución del peso unitario del concreto con adición de fibra respecto al concreto patrón. Sin embargo, pese a las variaciones que existen los valores se encuentran dentro del rango de 2200 a 2400 kg/m³, límites que indica la literatura para concretos de peso normal.

4.4. Análisis y discusión de resultados del concreto en estado endurecido

4.4.1. Peso unitario o densidad del concreto en estado endurecido

La Tabla 25 y Figura 9 presentan los pesos unitarios del concreto a los 28 días de curado. Se evidencia que esta propiedad se caracteriza por ser menor en comparación al peso unitario del concreto fresco, esto debido a la pérdida de agua de mezcla por evaporación durante el proceso de fraguado. El concreto patrón logró un peso unitario promedio de 2316.34 kg/m³; la adición de 0.4, 1.2 y 2.0 kg/m³ de FIBRA ZPP alcanzó un peso unitario promedio de 2314.58, 2314.22 y 2310.66 kg/m³ respectivamente; la adición de 0.5, 0.7 y 0.9 kg/m³ de SikaFiber® 1225 PPM alcanzó un peso unitario promedio de 2307.38, 2306.56 y 2303.95 kg/m³ respectivamente. Siendo la densidad del concreto con adición de FIBRA ZPP menor que el concreto patrón, pero a la vez mayor que el concreto con adición de SikaFiber® 1225 PPM.

4.4.2. Resistencia a la compresión

Los resultados de este ensayo realizado a los 28 días se encuentran en la Tabla 26 y 27, donde el concreto patrón logró una resistencia a compresión de 296.87 kg/cm², superando la resistencia a compresión especificada ($f'_c = 210$ kg/cm²), este aumento se debe a que en la norma E.060 se indica que en el diseño de mezcla se debe trabajar con una resistencia a compresión requerida ($f'_{cr} = 295$ kg/cm²). Al adicionar fibras de polipropileno del tipo FIBRA ZPP, con la dosificación de 0.4 kg/m³, la resistencia promedio aumentó en 13.75 % (337.70 kg/cm²), con 1.2 kg/m³ en 10.85 % (329.07 kg/cm²) y con 2.0 kg/m³ en 7.43 % (318.92 kg/cm²). Cuando se fibroreforzó con SikaFiber® 1225 PPM, en la proporción de 0.5 kg/m³ la resistencia aumentó en 18.95 % (353.12 kg/cm²), con 0.7 kg/m³ en 17.49 % (348.80 kg/cm²) y con 0.9 kg/m³ en 12.85 % (335.03 kg/cm²). Evidenciando que a mayor proporción de fibras la resistencia a compresión disminuye progresivamente y además según las Figuras 12 y 13 se aprecia que con 0.5 kg/m³ de SikaFiber® 12525 PPM se logró una mayor resistencia del concreto a la compresión.

4.4.3. Resistencia a la flexión

En las Tablas 28 y 29 se muestran los resultados de la resistencia a la flexión expresado mediante el Módulo de Rotura (M_r). En las Figuras 12 y 13 se muestra el M_r de un concreto sin adición de fibra (concreto patrón) y al adicionar FIBRA ZPP y SikaFiber® 1225 PPM respectivamente.

A la edad de 28 días, el concreto patrón alcanzó un M_r de 39.00 kg/cm². Al incorporar la FIBRA ZPP con dosificaciones de 0.4 kg/m³ el M_r aumenta en 21.46 % (47.37 kg/cm²), con 1.2 kg/m³ en 23.33 % (48.10 kg/cm²) y con 2.0 kg/m³ en 24.64 % (48.61 kg/cm²); mientras que, al adicionar SikaFiber® 1225 PPM, con adiciones de 0.5 kg/m³ se obtiene un incremento del M_r en 10.56 % (43.12 kg/cm²), con 0.7 kg/m³ en 12.41 % (43.84 kg/cm²) y con 0.9 kg/m³ en 14.56% (44.68 kg/cm²). De acuerdo a la variación porcentual se observa que, al adicionar las fibras sintéticas anteriormente mencionadas, el concreto alcanza un mayor M_r . Además, es importante mencionar que cuando se llegó a la carga última los especímenes prismáticos presentaron una falla frágil.

4.5. Contrastación de la hipótesis planteada

La hipótesis “**La resistencia mecánica de un concreto $f'_c = 210$ kg/cm² varía en más del 10 % al adicionar SikaFiber® 1225 PPM y FIBRA ZPP respecto al concreto tradicional (concreto patrón)**”. Se cumple para la resistencia a compresión con las dosificaciones utilizadas de SikaFiber® 1225 PPM y únicamente con las adiciones de 0.4 y 1.2 kg/m³ de FIBRA ZPP. En cuanto a la resistencia a flexión, la hipótesis se cumple para todas las dosificaciones utilizadas de SikaFiber® 1225 PPM y FIBRA ZPP.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La resistencia a compresión del concreto patrón (sin adición de fibras) fue de 296.87 kg/cm², superando la resistencia de diseño $f'_c = 210$ kg/cm², y la resistencia a flexión fue de 39.00 kg/cm² a la edad de 28 días.
- Con la adición de 0.5, 0.7 y 0.9 kg/m³ de SikaFiber® 1225 PPM la resistencia a compresión y flexión del concreto aumentó en más del 10 % respecto al concreto patrón.
- Con la adición de 0.4 y 1.2 kg/m³ de FIBRA ZPP la resistencia a compresión del concreto aumentó en más del 10 % y con la adición de 0.4, 1.2 y 2.0 kg/m³ la resistencia a flexión aumentó en más del 10 % respecto al concreto patrón.
- La adición de SikaFiber® 1225 PPM obtuvo el mayor incremento en la resistencia a compresión y la FIBRA ZPP fue la que alcanzó el mayor incremento en la resistencia a flexión.

5.2. Recomendaciones

- Realizar investigaciones donde se determine la resistencia mecánica del concreto a edad de 7 y 14 días para evaluar el comportamiento a edades tempranas.
- Realizar investigaciones incorporando aditivos plastificantes o superplastificantes en la mezcla de concreto para facilitar una adecuada distribución de las fibras, con el fin de mejorar la consistencia y tener una mayor trabajabilidad del concreto.
- Realizar investigaciones con dosificaciones diferentes a las utilizadas en esta investigación de SikaFiber® 1225 PPM y de FIBRA ZPP, con el objetivo de determinar la dosis más óptima de cada tipo de fibra sin afectar significativamente la resistencia a compresión y flexión del concreto.

REFERENCIAS

- Armas Aguilar, C. H. (2016). EFECTOS DE LA ADICIÓN DE FIBRA DE POLIPROPILENO EN LAS PROPIEDADES PLÁSTICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO HIDRÁULICO. *INGENIERÍA. CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN*, 3(2), 79-91. doi:<https://doi.org/10.26495/icti.v3i2.436>
- Bermejo Rojano, A. M., & Iglesias Reyes, W. (2023). *Comportamiento Mecánico del Hormigón reciclado con adición de fibras sintéticas (Fibra de polipropileno)* [Tesis de grado, Universidad de Cartagena]. Repositorio Digital. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11227/17628>
- Chilón Quispe, S. N. (2018). *Influencia de la fibra sintética (SIKA® fiber force PP-48) en el comportamiento mecánico de un concreto autocompactante con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1835>
- Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Universidad Nacional de Colombia.
- Harmsen, T. (2017). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Honores Vega, L. (2023). *Influencia de las fibras sintéticas en la resistencia a la compresión del concreto $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$, para la construcción de edificaciones en la localidad de Trujillo, la libertad – 2023* [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/36065>
- Kumar Mehta, P., & Monteiro, P. (1998). *Concreto. Estructura, propiedades y materiales*. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto (IMCYC).
- Lopez Heredia, L. A. (2023). *Estudio de las propiedades mecánicas del concreto adicionando fibra de polipropileno macro sintética estructural* [Tesis de grado, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12802/12038>
- Matallana, R. (2019). *El concreto: fundamentos y nuevas tecnologías*. Medellín: Compañía Colombiana de Cerámica.
- Mendoza, C. J., Aire, C., & Dávila, P. (2011). Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, 2(2), 35-47. Obtenido de

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112011000100003

- National Ready Mixed Concrete Association. (2020). Fibras sintéticas para el concreto. *El concreto en la Práctica*. Obtenido de <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP24es.pdf>
- Neville, A. (2013). *Properties of concrete (Fourth and Final Edition)*. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Trad.) M. en A. Soledad Moliné Venanzi. (Trabajo original publicado en 1995).
- NTP 334.001. (2011). *CEMENTOS. Definiciones y nomenclatura*. INDECOPI.
- NTP 334.009. (2020). *CEMENTOS. Cementos hidraulicos adicionados. Requisitos*. INACAL.
- NTP 339.034. (2021). *CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo*. INACAL.
- NTP 339.035. (2015). *CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland*. INACAL.
- NTP 339.046. (2008). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)*. INDECOPI.
- NTP 339.047. (2019). *CONCRETO. Definiciones y terminología relativas al concreto y agregados*. INDECOPI.
- NTP 339.078. (2022). *CONCRETO. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de la distancia entre apoyos. Método de ensayo*. INACAL.
- NTP 339.088. (2019). *CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland, Requisitos*. Lima: INACAL.
- NTP 339.183. (2021). *CONCRETO. Práctica para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio*. INACAL.
- NTP 339.185. (2018). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. INACAL.
- NTP 339.204. (2016). *CONCRETO. Especificación normalizada del concreto reforzado con fibra*. INACAL.
- NTP 400.011. (2013). *AGREGADOS. Definición y Clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos)*. INDECOPI.
- NTP 400.012. (2018). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. INACAL.

- NTP 400.017. (2016). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados*. INACAL.
- NTP 400.018. (2018). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (N° 200) por lavado en agregados*. INACAL.
- NTP 400.019. (2014). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles*. INDECOPI.
- NTP 400.021. (2018). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso*. INACAL.
- NTP 400.037. (2018). *AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos*. INACAL.
- Pasquel Carbajal, E. (1998). *TOPICOS DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO*. Colegio de Ingenieros del Perú.
- Ramírez Cabrera, W. J., & Pastuña Villegas, B. A. (2023). *Análisis del efecto tamaño en el comportamiento a flexión y compresión de elementos de hormigón reforzado con fibras plásticas [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]*. Repositorio Digital. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/39209>
- Reinoso Esteban, C. E. (2021). *Análisis del concreto reforzado con fibra sintética [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14076/22222>
- Salcedo Espinoza, W. O. (2017). *Influencia de la incorporación de fibra de polipropileno monofilamento en la resistencia mecánica del concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/11324>
- Sika. (2025). *Sika Perú*. Obtenido de <https://per.sika.com/dam/dms/pe01/e/sikafiber-1225-ppm.pdf>
- Sika Perú. (2024). *SikaFiber Force-48*. Obtenido de Sika Perú: https://per.sika.com/dam/dms/pe01/y/sikafiber_force-48.pdf
- Z aditivos. (2022). *FIBRA ZPP*. Obtenido de Z aditivos: <https://www.zaditivos.com.pe/files/zaditivos/2024-03/HT%20FIBRA%20ZPP.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Propiedades de los agregados de la cantera “Hermanos Alaya”

1. Propiedades del agregado fino

Tabla 30

Análisis granulométrico del agregado fino - NTP 400.012

Peso seco inicial:		1500.00	g		
Tamiz		Peso retenido parcial (g)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
Malla	Abertura (mm)				
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	60.00	4.00	4.00	96.00
N°8	2.36	166.00	11.07	15.07	84.93
N°16	1.18	151.00	10.07	25.13	74.87
N°30	0.60	410.00	27.33	52.47	47.53
N°50	0.30	570.00	38.00	90.47	9.53
N°100	0.15	105.00	7.00	97.47	2.53
N°200	0.075	23.00	1.53	99.00	1.00
Cazoleta	---	15.00	1.00	100.00	0.53
Total		1500.00			
Módulo de finura =			2.85		

Figura 14

Curva de distribución granulométrica del agregado fino

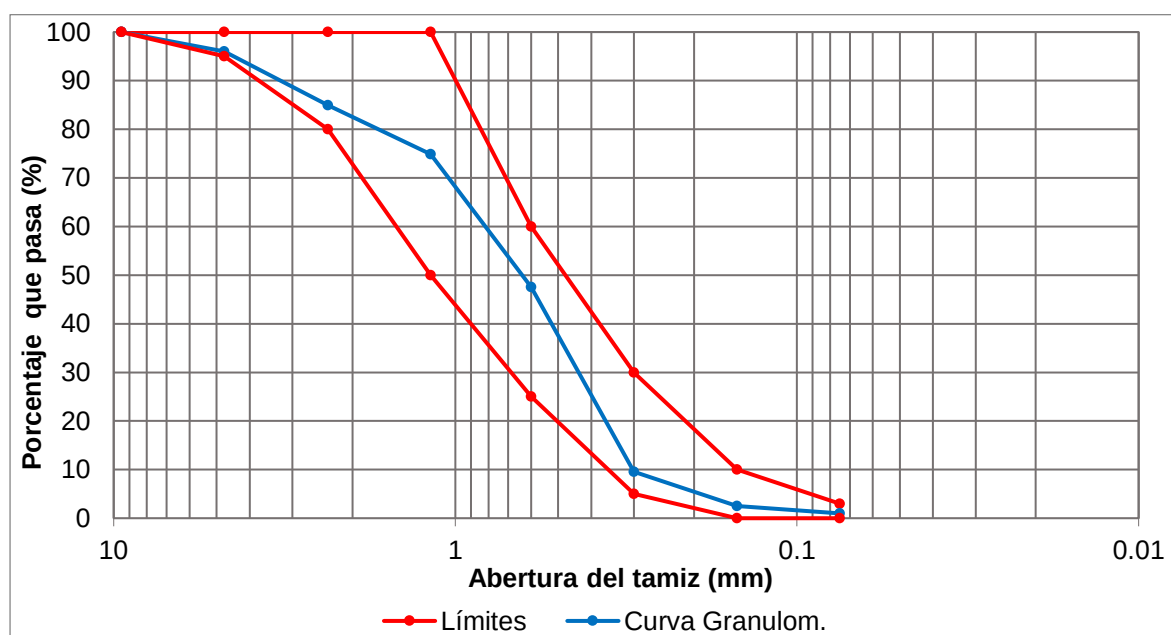


Tabla 31*Densidad del agua según la temperatura*

Temperatura		kg/m³	lb/p³
°C	F°		
15.6	60	999.01	62.366
18.3	65	998.54	62.336
21.1	70	997.97	62.301
23	73.4	997.54	62.274
23.9	75	997.32	62.261
26.7	80	996.59	62.216
29.4	85	995.83	62.166

Tabla 32*Volumen de recipiente para peso unitario del agregado fino - NTP 400.017*

Descripción	Unidad	Cantidad
Peso recipiente + vidrio	kg	4.405
Peso recipiente + vidrio + agua	kg	7.419
Temperatura del agua	°C	20.7
Densidad del agua a 20.7 °C	kg/m ³	998.06
Volumen del recipiente	m³	0.003

Tabla 33*Peso unitario suelto del agregado fino - NTP 400.017*

Descripción	Unidad	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso recipiente	kg	3.866	3.866	3.866	
Peso recipiente + muestra suelta	kg	8.530	8.696	8.685	
Volumen de recipiente	m ³	0.003	0.003	0.003	
Peso unitario suelto	kg/m³	1544.44	1599.41	1595.76	1579.87

Tabla 34*Peso unitario compactado del agregado fino - NTP 400.017*

Descripción	Unidad	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso recipiente	kg	3.866	3.866	3.866	
Peso recipiente + muestra compactada	kg	9.088	9.027	9.067	
Volumen de recipiente	m ³	0.003	0.003	0.003	
Peso unitario compactado	kg/m³	1729.21	1709.01	1722.26	1720.16

Tabla 35*Peso específico del agregado fino - NTP 400.022*

Descripción	Unidad	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso fiola	g	176.00	167.00	138.00	
Peso fiola + agua hasta menisco	g	673.00	664.00	635.00	
Peso muestra SSS	g	500.00	500.00	500.00	
Peso fiola + muestra SSS + agua hasta menisco	g	979.51	974.00	946.11	
Peso muestra seca al horno	g	494.25	494.33	494.44	
Peso específico de masa	g/cm³	2.554	2.602	2.618	2.59
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	g/cm³	2.584	2.632	2.647	2.62
Peso específico aparente	g/cm³	2.633	2.682	2.697	2.67

Tabla 36*Porcentaje de absorción del agregado fino - NTP 400.022*

Descripción	Unidad	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso muestra SSS	g	500.00	500.00	500.00	
Peso muestra seca al horno	g	494.25	494.33	494.44	
Absorción	%	1.16	1.15	1.12	1.14

Tabla 37*Contenido de humedad del agregado fino - NTP 339.185*

Descripción	Unidad	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso recipiente	g	31.00	32.00	31.00	
Peso recipiente + muestra húmeda	g	505.00	495.00	542.00	
Peso recipiente + muestra seca	g	482.00	475.00	521.00	
Contenido de humedad	%	5.10	4.51	4.29	4.63

Tabla 38*Porcentaje de material fino en el agregado fino - NTP 400.018*

Descripción	Unidad	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso muestra inicial sin lavar	g	500.00	500.00	500.00	
Peso muestra lavada y secada al horno	g	486.00	484.50	487.00	
Peso del material que pasa el tamiz N°200	g	14.00	15.50	13.00	
% de material que pasa el tamiz N°200	%	2.80	3.10	2.60	2.83

2. Propiedades del agregado grueso**Tabla 39***Análisis granulométrico del agregado grueso - NTP 400.012*

Peso seco inicial:		5000.00	g		
Tamiz		Peso retenido parcial (g)	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa
Malla	Abertura (mm)				
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	96.00	1.92	1.92	98.08
1/2"	12.50	2498.00	49.96	51.88	48.12
3/8"	9.50	1304.00	26.08	77.96	22.04
N°4	4.75	1092.00	21.84	99.80	0.20
N°8	2.36	8.00	0.16	99.96	0.04
Cazoleta	---	2.00	0.04	100.00	0.00
Total		5000.00			
Módulo de finura=			6.80		

Figura 15

Curva de distribución granulométrica del agregado grueso

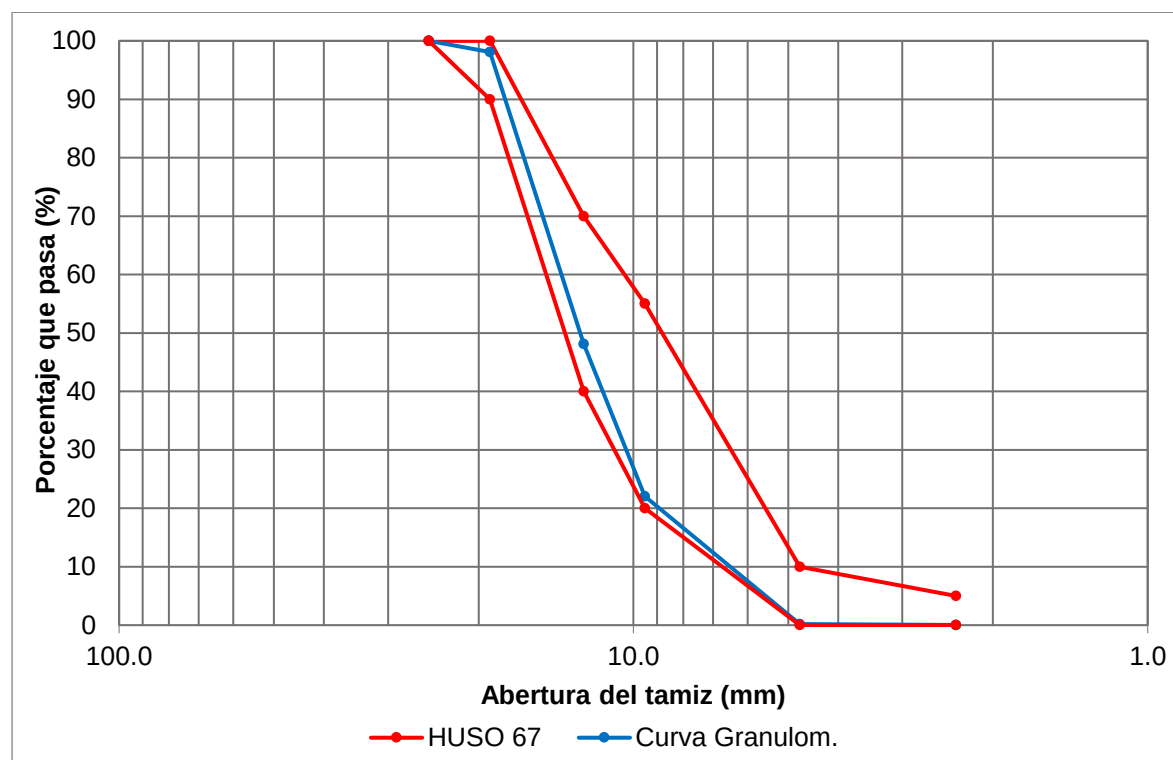


Tabla 40

Volumen de recipiente para peso unitario del agregado grueso

Descripción	Unidad	Cantidad
Peso recipiente + vidrio	kg	7.801
Peso recipiente + vidrio + agua	kg	14.838
Temperatura del agua	°C	22.6
Densidad del agua a 20.7 °C	kg/m ³	997.63
Volumen del recipiente	m³	0.0071

Tabla 41

Peso unitario suelto del agregado grueso - NTP 400.017

Descripción	Unidad	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso recipiente	kg	7.134	7.134	7.134	
Peso recipiente + muestra suelta	kg	17.221	17.596	17.315	
Volumen de recipiente	m ³	0.0071	0.0071	0.0071	
Peso unitario suelto	kg/m³	1430.03	1483.19	1443.35	1452.19

Tabla 42*Peso unitario compactado del agregado grueso - NTP 400.017*

Descripción	Unidad	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso recipiente	kg	7.134	7.134	7.134	
Peso recipiente + muestra compactada	kg	18.078	18.042	18.113	
Volumen de recipiente	m ³	0.0071	0.0071	0.0071	
Peso unitario compactado	kg/m³	1551.52	1546.42	1556.48	1551.48

Tabla 43*Peso específico del agregado grueso - NTP 400.021*

Descripción	Unidad	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso muestra saturada superficialmente seca (SSS)	g	3013.00	3027.00	3021.00	
Peso canastilla sumergida	g	2962.00	2962.00	2962.00	
Peso canastilla sumergida + muestra SSS	g	4924.00	4855.00	4843.00	
Peso muestra seca al horno	g	2983.00	2992.00	2983.00	
Peso específico de masa	g/cm³	2.84	2.64	2.62	2.70
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	g/cm³	2.87	2.67	2.65	2.73
Peso específico aparente	g/cm³	2.92	2.72	2.71	2.78

Tabla 44*Porcentaje de absorción del agregado grueso - NTP 400.021*

Descripción	Unidad	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso muestra SSS	g	3013.00	3027.00	3021.00	
Peso muestra seca al horno	g	2983.00	2992.00	2989.00	
Absorción	%	1.01	1.17	1.07	1.08

Tabla 45*Contenido de humedad del agregado grueso - NTP 339.185*

Descripción	Unidad	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso recipiente	g	180.00	210.00	195.00	
Peso recipiente + muestra húmeda	g	3146.00	3366.00	3224.00	
Peso recipiente + muestra seca	g	3098.00	3312.00	3174.00	
Contenido de humedad	%	1.64	1.74	1.68	1.69

Tabla 46*Porcentaje de material fino en el agregado grueso - NTP 400.018*

Descripción	Unidad	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso muestra sin lavar	g	2500.00	2500.00	2500.00	
Peso muestra lavada y secada al horno	g	2492.00	2495.00	2490.00	
Peso del material que pasa el tamiz N°200	g	8.00	5.00	10.00	
% de material que pasa el tamiz N°200	%	0.32	0.20	0.40	0.31

Tabla 47*Resistencia a la degradación en agregado grueso - NTP 400.019*

Descripción	Unidad	M-1	M-2	M-3	Promedio
Peso inicial de muestra	g	5000.00	5000.00	5000.00	
Peso final retenido por el tamiz N°12	g	3520.00	3548.00	3618.00	
% Desgaste	%	29.60	29.04	27.64	28.76

Anexo 2. Diseño de mezcla de concreto**Tabla 48***Densidad del agua usada en el diseño de mezcla*

Descripción	Unidad	Cantidad
Peso fiola	kg	0.176
Peso fiola + agua hasta menisco	kg	0.674
Volumen de fiola	ml	500.000
Volumen de fiola	m ³	0.001
Densidad	kg/m³	996.00

I) ESPECIFICACIONES REQUERIDAS PARA EL CONCRETO

Concreto:	Normal	
Resistencia especificada (f'c):	210	kg/cm ²
Consistencia:	Plástica	
Aire incorporado:	sin aire incorporado	

II) PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**2.1. Cemento:**

Marca: Pacasmayo
 Tipo: Tipo I
 Densidad: 3.11 g/cm³
 Norma: NTP 334.009 y ASTM C150

2.2. Agua:

Tipo: Agua potable
 Densidad: 996.00 kg/m³
 Norma: NTP 339.088

2.3. Agregados:

Cantera: Hermanos Alaya

Descripción	Unidad	Agregado fino	Agregado grueso
Tamaño máximo nominal	pulg	-	3/4"
Perfil		-	Angular
Peso específico de masa	g/cm ³	2.59	2.70
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	g/cm ³	2.62	2.73
Peso específico aparente	g/cm ³	2.67	2.78
Peso unitario suelto seco	kg/m ³	1579.87	1452.19
Peso unitario compactado seco	kg/m ³	1720.16	1551.48
Contenido de humedad	%	4.63	1.69
Absorción	%	1.14	1.08
Módulo de finura		2.85	6.80
Abrasión	%	-	28.76
Porcentaje que pasa malla N°200	%	2.83	0.31

III) PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO

3.1. Determinación de la resistencia en compresión requerida

Resistencia a compresión especificada

$$f'_c = 210.00 \text{ kg/cm}^2$$

Resistencia a compresión requerida (f'_{cr}):

$$f'_{cr} = 295.00 \text{ kg/cm}^2$$

3.2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

Perfil: Angular

Tamaño máximo nominal (TMN): 3/4"

3.3. Selección del asentamiento

De acuerdo a las especificaciones, las condiciones de colocación requieren que la

mezcla tenga una consistencia Plástica, por lo tanto:
 Asentamiento: 3" a 4"
 Trabajabilidad: Trabajable o móvil

3.4. Volumen unitario de agua

Para un asentamiento de 3" a 4" y un TMN de 3/4"
 Volumen unitario de agua = 205.00 lt

3.5. Selección del contenido de aire atrapado

Para un tamaño máximo nominal de 3/4"
 Contenido de aire atrapado = 2.00 %

3.6. Relación agua/cemento

Por resistencia (a/c) = 0.56

3.7. Determinación del contenido de cemento y factor cemento

Cemento = 366.07 kg
 Factor cemento (FC) = 8.61 bls/m³

3.8. Cálculo del volumen absoluto de la pasta

Cemento	=	0.117707 m ³
Agua	=	0.205823 m ³
Aire	=	0.020000 m ³
Volumen absoluto de la pasta	=	0.343530 m ³

3.9. Determinación del volumen absoluto de los agregados por m³

Volumen absoluto de los agregados	=	1-0.34353
Volumen absoluto de los agregados	=	0.656470 m ³

3.10. Corrección de vacíos

vacíos	=	42.54 %
vacíos por corregir	=	7.54 %
factor de corrección	=	0.15

3.11. Determinación del módulo de fineza de la combinación de agregados (m_c)

Para un factor cemento de 8.61 bls/m³ y un TMN de 3/4"

m _c	=	5.16
m _c corregido	=	5.01

3.12. Cálculo del porcentaje del agregado fino y grueso

$$r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} \times 100 \quad r_f + r_g = 100$$

En relación al volumen absoluto total del agregado:

Porcentaje del agregado fino (r_f)	=	45.34 %
Porcentaje del agregado grueso (r_g)	=	54.66 %

3.13. Determinación del volumen absoluto de cada agregado

Vol. absoluto del agregado fino	=	0.297643 m ³
Vol. absoluto del agregado grueso	=	0.358827 m ³

3.14. Determinación de los pesos secos de los agregados

Peso seco del agregado fino	=	770.90 kg
Peso seco del agregado grueso	=	968.83 kg

3.15. Valores de diseño de los materiales por m³

Cemento	=	366.07 kg
Agua de diseño	=	205.00 lt
Agregado fino seco	=	770.90 kg
Agregado grueso seco	=	968.83 kg

3.16. Corrección por humedad del agregado

Agregado fino húmedo	=	806.59 kg
Agregado grueso húmedo	=	985.20 kg

3.17. Aporte de humedad de los agregados

Agregado fino	=	26.90 lt/m ³
Agregado grueso	=	5.91 lt/m ³
Aporte de humedad del agregado	=	32.81 lt/m ³

3.18. Cálculo del agua efectiva de mezclado

Agua efectiva	=	172.19 lt
---------------	---	-----------

3.19. Materiales corregidos por humedad por m³

Cemento	=	366.07 kg
Agua efectiva	=	172.19 lt
Agregado fino húmedo	=	806.59 kg
Agregado grueso húmedo	=	985.20 kg

3.20. Proporción en peso

Cemento	=	1.00
Agregado fino húmedo	=	2.20
Agregado grueso húmedo	=	2.69

$$\text{Agua efectiva} = 19.99 \text{ lt/bls}$$

3.21. Proporción en volumen

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 1.00 \\ \text{Agregado fino húmedo} &= 2.00 \\ \text{Agregado grueso húmedo} &= 2.73 \\ \text{Agua efectiva} &= 19.99 \text{ lt/bls} \end{aligned}$$

CORRECCIÓN POR RESISTENCIA

SEGÚN LEY DE POWERS

Para una relación $a/c = 0.56$ se tiene un $f'c = 229.74 \text{ kg/cm}^2$ a los 7 días de curado. Dicha resistencia se multiplicó por 1.4 para proyectar a los 28 días, obteniendo una resistencia de 321.64 kg/cm^2 . Para realizar el reajuste aplicamos la Ley de Powers.

$$\begin{aligned} a/c &= 0.56 \\ R &= 321.64 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= 2380 X^3 \\ X &= 0.513174 \end{aligned}$$

$$X = \frac{0.647 \alpha}{0.319\alpha + a/c}$$

$$\begin{aligned} 0.483298 * \alpha &= 0.287377 \\ \alpha &= 0.595 \end{aligned}$$

Conociendo el grado de hidratación del concreto y la resistencia a la compresión reajustamos la relación a/c

$$\begin{aligned} R &= 210.00 \text{ kg/cm}^2 \\ X &= 0.445 \\ \alpha &= 0.595 \\ a/c &= 0.67 \end{aligned}$$

▪ Diseño de mezcla corregido

III) PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO

3.1. Determinación de la resistencia en compresión requerida

Resistencia a compresión especificada

$$f'c = 210.00 \text{ kg/cm}^2$$

Resistencia a compresión requerida ($f'cr$) :

$$f'_{cr} = 295.00 \text{ kg/cm}^2$$

3.2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

Perfil: Angular
Tamaño máximo nominal (TMN): 3/4"

3.3. Selección del asentamiento

De acuerdo a las especificaciones, las condiciones de colocación requieren que la mezcla tenga una consistencia Plástica, por lo tanto:

Asentamiento: 3" a 4"
Trabajabilidad: Trabajable o móvil

3.4. Volumen unitario de agua

Para un asentamiento de 3" a 4" y un TMN de 3/4"
Volumen unitario de agua = 205.00 lt

3.5. Selección del contenido de aire atrapado

Para un tamaño máximo nominal de 3/4"
Contenido de aire atrapado = 2.00 %

3.6. Relación agua/cemento

Ajustado según la Ley de Powers
a/c corregido = 0.67

3.7. Determinación del contenido de cemento y factor cemento

Cemento = 305.97 kg
Factor cemento (FC) = 7.20 bls/m³

3.8. Cálculo del volumen absoluto de la pasta

Cemento	=	0.098383 m ³
Agua	=	0.205823 m ³
Aire	=	0.020000 m ³
Volumen absoluto de la pasta	=	0.324206 m ³

3.9. Determinación del volumen absoluto de los agregados por m³

Volumen absoluto de los agregados = 1-0.324206
Volumen absoluto de los agregados = 0.675794 m³

3.10. Corrección de vacíos

vacíos = 42.54 %
vacíos por corregir = 7.54 %
factor de corrección = 0.15

3.11. Determinación del módulo de fineza de la combinación de agregados (m_c)

Para un factor cemento de 7.20 bls/m³ y un TMN de 3/4"

$$\begin{aligned} m_c &= 5.05 \\ m_c \text{ corregido} &= 4.90 \end{aligned}$$

3.12. Cálculo del porcentaje del agregado fino y grueso

$$r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} \times 100 \qquad r_f + r_g = 100$$

En relación al volumen absoluto total del agregado:

$$\begin{aligned} \text{Porcentaje del agregado fino } (r_f) &= 48.12 \% \\ \text{Porcentaje del agregado grueso } (r_g) &= 51.88 \% \end{aligned}$$

3.13. Determinación del volumen absoluto de cada agregado

$$\begin{aligned} \text{Vol. absoluto del agregado fino} &= 0.325192 \text{ m}^3 \\ \text{Vol. absoluto del agregado grueso} &= 0.350602 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

3.14. Determinación de los pesos secos de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Peso seco del agregado fino} &= 842.25 \text{ kg} \\ \text{Peso seco del agregado grueso} &= 946.63 \text{ kg} \end{aligned}$$

3.15. Valores de diseño de los materiales por m³

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 305.97 \text{ kg} \\ \text{Agua de diseño} &= 205.00 \text{ lt} \\ \text{Agregado fino seco} &= 842.25 \text{ kg} \\ \text{Agregado grueso seco} &= 946.63 \text{ kg} \end{aligned}$$

3.16. Corrección por humedad del agregado

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino húmedo} &= 881.25 \text{ kg} \\ \text{Agregado grueso húmedo} &= 962.63 \text{ kg} \end{aligned}$$

3.17. Aporte de humedad de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino} &= 29.39 \text{ lt/m}^3 \\ \text{Agregado grueso} &= 5.77 \text{ lt/m}^3 \\ \hline \text{Aporte de humedad del agregado} &= 35.16 \text{ lt/m}^3 \end{aligned}$$

3.18. Cálculo del agua efectiva de mezclado

$$\text{Agua efectiva} = 169.84 \text{ lt}$$

3.19. Materiales corregidos por humedad por m³

$$\text{Cemento} = 305.97 \text{ kg}$$

Agua efectiva	=	169.84	lt
Agregado fino húmedo	=	881.25	kg
Agregado grueso húmedo	=	962.63	kg

3.20. Proporción en peso

Cemento	=	1.00	
Agregado fino húmedo	=	2.88	
Agregado grueso húmedo	=	3.15	
Agua efectiva	=	23.59	lt/bls

3.21. Proporción en volumen

Cemento	=	1.00	
Agregado fino húmedo	=	2.61	
Agregado grueso húmedo	=	3.20	
Agua efectiva	=	23.59	lt/bls

3.22. Dosificación en peso por tanda

Para una tanda de	=	0.031	m ³	0.065	m ³
Cemento	=	9.49	kg	19.89	kg
Agua efectiva	=	5.27	lt	11.04	lt
Agregado fino húmedo	=	27.32	kg	57.28	kg
Agregado grueso húmedo	=	29.84	kg	62.57	kg

Anexo 3. Propiedades del concreto

1. Peso unitario del concreto en estado fresco

Tabla 49

Volumen del recipiente utilizado para el peso unitario del concreto fresco

Descripción	Unidad	Cantidad
Peso recipiente	kg	4.191
Peso recipiente + vidrio	kg	4.876
Peso recipiente + vidrio + agua	kg	14.678
Densidad del agua	kg/m ³	996.00
Volumen recipiente	m³	0.00984

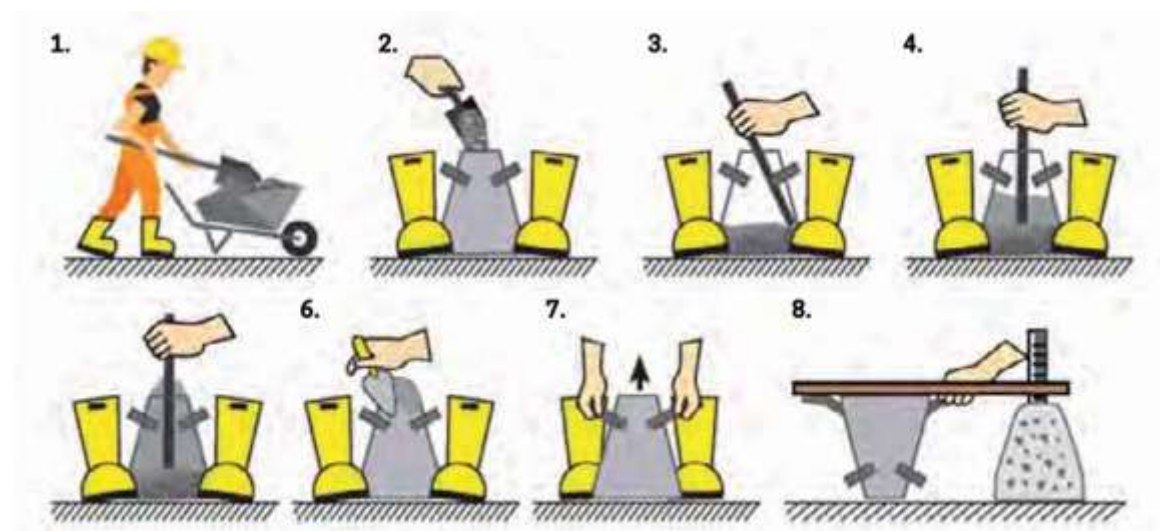
Tabla 50

Peso unitario del concreto en estado fresco

Tipo de concreto	Dosificación de fibra	Muestra	Peso recipiente + concreto (kg)	Peso de concreto (kg)	Peso unitario (kg/m³)	Peso unitario promedio (kg/m³)	Variación
Concreto patrón	0.0 kg/m³	M-1	27.213	23.022	2339.65	2337.44	
		M-2	27.166	22.975	2334.88		
		M-3	27.195	23.004	2337.79		
Concreto con adición de FIBRA ZPP	0.4 kg/m³	M-1	27.111	22.920	2329.25	2327.35	-0.43 %
		M-2	27.073	22.882	2325.46		
		M-3	27.153	22.962	2333.57		
	1.2 kg/m³	M-1	27.023	22.832	2320.35	2326.61	-0.46 %
		M-2	27.139	22.948	2332.13		
		M-3	27.092	22.901	2327.34		
	2.0 kg/m³	M-1	27.087	22.896	2326.79	2323.76	-0.59 %
		M-2	27.049	22.858	2323.02		
		M-3	27.034	22.843	2321.48		
Concreto con adición de SikaFiber® 1225 PPM	0.5 kg/m³	M-1	27.028	22.837	2320.82	2320.38	-0.73 %
		M-2	27.039	22.848	2321.97		
		M-3	27.004	22.813	2318.35		
	0.7 kg/m³	M-1	27.046	22.855	2322.63	2320.00	-0.75 %
		M-2	27.015	22.824	2319.50		
		M-3	26.999	22.808	2317.86		
	0.9 kg/m³	M-1	26.997	22.806	2317.67	2318.78	-0.80 %
		M-2	27.021	22.830	2320.13		
		M-3	27.005	22.814	2318.55		

Figura 16

Procedimiento para el ensayo de asentamiento



Nota. Extraído de Matallana, 2019.

2. Peso unitario del concreto en estado endurecido

Tabla 51

Peso unitario del concreto en estado endurecido

Tipo de concreto	Dosificación de fibra	Muestra	Ø sup. (cm)	Ø inf. (cm)	Ø prom. (cm)	Área (cm ²)	Altura (cm)	Volúmen (m ³)	Peso (kg)	P.U. (kg/m ³)	P.U. prom. (kg/m ³)	Variación
Concreto patrón	0.0 kg/m ³	MP-01	15.20	15.20	15.20	181.46	30.20	0.005	12.693	2316.19	2316.34	
		MP-02	15.10	15.15	15.13	179.79	30.20	0.005	12.564	2314.02		
		MP-03	15.20	15.30	15.25	182.65	30.30	0.006	12.829	2318.01		
		MP-04	15.20	15.20	15.20	181.46	30.30	0.005	12.735	2316.23		
		MP-05	15.15	15.20	15.18	180.98	30.25	0.005	12.686	2317.27		
Concreto con adición de FIBRA ZPP	0.4 kg/m ³	MA-01	15.30	15.30	15.30	183.85	30.20	0.006	12.859	2316.06	2314.58	-0.08 %
		MA-02	15.20	15.20	15.20	181.46	30.40	0.006	12.755	2312.18		
		MA-03	15.30	15.20	15.25	182.65	30.40	0.006	12.848	2313.83		
		MA-04	15.20	15.20	15.20	181.46	30.30	0.005	12.726	2314.59		
		MA-05	15.30	15.20	15.25	182.65	30.20	0.006	12.776	2316.25		
	1.2 kg/m ³	MB-01	15.10	15.10	15.10	179.08	30.10	0.005	12.466	2312.59	2314.22	-0.09 %
		MB-02	15.10	15.20	15.15	180.27	30.20	0.005	12.613	2316.76		
		MB-03	15.20	15.20	15.20	181.46	30.30	0.005	12.723	2313.96		
		MB-04	15.20	15.20	15.20	181.46	30.20	0.005	12.689	2315.45		
		MB-05	15.20	15.10	15.15	180.27	30.15	0.005	12.568	2312.35		
	2.0 kg/m ³	MC-01	15.30	15.20	15.25	182.65	30.30	0.006	12.794	2311.68	2310.66	-0.25 %
		MC-02	15.30	15.20	15.25	182.65	30.30	0.006	12.800	2312.87		
		MC-03	15.20	15.20	15.20	181.46	30.20	0.005	12.659	2310.03		
		MC-04	15.20	15.30	15.25	182.65	30.20	0.006	12.737	2309.17		
		MC-05	15.20	15.20	15.20	181.46	30.20	0.005	12.657	2309.55		
Concreto con adición de SikaFiber®1225 PPM	0.5 kg/m ³	MD-01	15.37	15.14	15.26	182.89	30.30	0.006	12.787	2307.39	2307.38	-0.39 %
		MD-02	15.23	15.10	15.17	180.74	30.20	0.005	12.578	2304.32		
		MD-03	15.32	15.28	15.30	183.85	30.10	0.006	12.780	2309.46		
		MD-04	15.36	15.17	15.27	183.13	30.20	0.006	12.769	2308.76		
		MD-05	15.28	15.30	15.29	183.61	30.25	0.006	12.813	2306.99		
	0.7 kg/m ³	ME-01	15.18	15.17	15.18	180.98	30.10	0.005	12.583	2309.87	2306.56	-0.42 %
		ME-02	15.11	15.13	15.12	179.55	30.30	0.005	12.557	2308.18		
		ME-03	15.13	15.04	15.09	178.84	30.00	0.005	12.359	2303.62		
		ME-04	15.20	15.17	15.19	181.22	30.40	0.006	12.696	2304.55		
		ME-05	15.14	15.12	15.13	179.79	30.20	0.005	12.524	2306.56		
	0.9 kg/m ³	MF-01	15.10	15.12	15.11	179.32	30.30	0.005	12.531	2306.31	2303.95	-0.54 %
		MF-02	15.12	15.20	15.16	180.50	30.20	0.005	12.566	2305.26		
		MF-03	15.26	15.27	15.27	183.13	30.10	0.006	12.704	2304.73		
		MF-04	15.12	15.09	15.11	179.32	30.35	0.005	12.528	2301.97		
		MF-05	15.11	15.10	15.11	179.32	30.15	0.005	12.443	2301.46		

3. Resistencia a compresión a los 28 días

Tabla 52

Resistencia a compresión del concreto patrón

Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	Ø sup. (cm)	Ø inf. (cm)	Ø prom. (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Carga última (kg)	F'c (kg/cm²)	Tipo de fractura
0.0 kg/m³	MP-01	28	15.20	15.20	15.20	30.20	181.46	54500.00	300.34	6
	MP-02		15.10	15.15	15.13	30.20	179.67	53000.00	294.98	5
	MP-03		15.20	15.30	15.25	30.30	182.65	54000.00	295.64	5
	MP-04		15.20	15.20	15.20	30.30	181.46	54000.00	297.59	5
	MP-05		15.15	15.20	15.18	30.20	180.86	53500.00	295.81	5
							Resistencia media	296.87	kg/cm²	
							Rango muestral	5.36	kg/cm²	
							Varianza	3.76		
							Desviación estándar	1.94	kg/cm²	
							Coeficiente de variación	0.65	%	

Tabla 53

Resistencia a compresión del concreto con adición de 0.4 kg/m³ de FIBRA ZPP

Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	Ø sup. (cm)	Ø inf. (cm)	Ø prom. (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Carga última (kg)	F'c (kg/cm²)	Tipo de fractura
0.4 kg/m³	MA-01	28	15.30	15.30	15.30	30.20	183.85	61000.00	331.79	6
	MA-02		15.20	15.20	15.20	30.40	181.46	60500.00	333.41	5
	MA-03		15.30	15.20	15.25	30.40	182.65	63000.00	344.91	6
	MA-04		15.20	15.20	15.20	30.30	181.46	62000.00	341.68	6
	MA-05		15.30	15.20	15.25	30.30	182.65	61500.00	336.70	6
							Resistencia media		337.70	kg/cm²
							Rango muestral		13.13	kg/cm²
							Varianza		24.45	
							Desviación estándar		4.94	kg/cm²
							Coeficiente de variación		1.46	%

Tabla 54*Resistencia a compresión del concreto con adición de 1.2 kg/m³ de FIBRA ZPP*

Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	Ø sup. (cm)	Ø inf. (cm)	Ø prom. (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Carga última (kg)	F'c (kg/cm²)	Tipo de fractura
1.2 kg/m³	MB-01	28	15.10	15.10	15.10	30.10	179.08	59000.00	329.46	3
	MB-02		15.10	15.20	15.15	30.20	180.27	58500.00	324.52	6
	MB-03		15.20	15.20	15.20	30.30	181.46	60000.00	330.65	3
	MB-04		15.20	15.20	15.20	30.20	181.46	60500.00	333.41	5
	MB-05		15.20	15.10	15.15	30.20	180.27	59000.00	327.29	3
							Resistencia media		329.07	kg/cm²
							Rango muestral		8.89	kg/cm²
							Varianza		9.07	
							Desviación estándar		3.01	kg/cm²
							Coeficiente de variación		0.92	%

Tabla 55*Resistencia a compresión del concreto con adición de 2.0 kg/m³ de FIBRA ZPP*

Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	Ø sup. (cm)	Ø inf. (cm)	Ø prom. (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Carga última (kg)	F'c (kg/cm²)	Tipo de fractura
2.0 kg/m³	MC-01	28	15.30	15.20	15.25	30.30	182.65	60000.00	328.49	6
	MC-02		15.30	15.20	15.25	30.30	182.65	56000.00	306.59	3
	MC-03		15.20	15.20	15.20	30.20	181.46	58000.00	319.63	6
	MC-04		15.20	15.30	15.25	30.20	182.65	59000.00	323.01	6
	MC-05		15.20	15.20	15.20	30.30	181.46	57500.00	316.88	6
							Resistencia media	318.92	kg/cm²	
							Rango muestral	21.90	kg/cm²	
							Varianza	53.01		
							Desviación estándar	7.28	kg/cm²	
							Coeficiente de variación	2.28	%	

Tabla 56

Resistencia a compresión del concreto con adición de 0.5 kg/m³ de SikaFiber® 1225 PPM

Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	Ø sup. (cm)	Ø inf. (cm)	Ø prom. (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Carga última (kg)	F'c (kg/cm²)	Tipo de fractura
0.5 kg/m³	MD-01	28	15.37	15.14	15.26	30.30	182.77	62500.00	341.95	6
	MD-02		15.23	15.10	15.17	30.20	180.62	66500.00	368.17	5
	MD-03		15.32	15.28	15.30	30.10	183.85	65000.00	353.54	5
	MD-04		15.36	15.17	15.27	30.20	183.01	64000.00	349.70	5
	MD-05		15.20	15.10	15.15	30.10	180.27	63500.00	352.26	5
							Resistencia media	353.12	kg/cm²	
							Rango muestral	26.22	kg/cm²	
							Varianza	72.76		
							Desviación estándar	8.53	kg/cm²	
							Coeficiente de variación	2.42	%	

Tabla 57

Resistencia a compresión del concreto con adición de 0.7 kg/m³ de SikaFiber® 1225 PPM

Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	Ø sup. (cm)	Ø inf. (cm)	Ø prom. (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Carga última (kg)	F'c (kg/cm²)	Tipo de fractura
0.7 kg/m³	ME-01	28	15.18	15.17	15.18	30.10	180.86	62000.00	342.80	5
	ME-02		15.11	15.13	15.12	30.30	179.55	61500.00	342.52	5
	ME-03		15.13	15.04	15.09	30.00	178.72	64000.00	358.10	3
	ME-04		15.20	15.17	15.19	30.40	181.10	63500.00	350.63	3
	ME-05		15.16	15.12	15.14	30.20	180.03	63000.00	349.94	5
							Resistencia media		348.80	kg/cm²
							Rango muestral		15.58	kg/cm²
							Varianza		33.31	
							Desviación estándar		5.77	kg/cm²
							Coeficiente de variación		1.65	%

Tabla 58

Resistencia a compresión del concreto con adición de 0.9 kg/m³ de SikaFiber® 1225 PPM

Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	Ø sup. (cm)	Ø inf. (cm)	Ø prom. (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Carga última (kg)	F'c (kg/cm²)	Tipo de fractura
0.9 kg/m³	MF-01	28	15.10	15.12	15.11	30.30	179.32	60000.00	334.61	6
	MF-02		15.12	15.20	15.16	30.20	180.50	62000.00	343.48	5
	MF-03		15.26	15.27	15.27	30.10	183.01	59500.00	325.11	6
	MF-04		15.12	15.09	15.11	30.40	179.20	61000.00	340.41	5
	MF-05		15.19	15.17	15.18	30.30	180.98	60000.00	331.53	5
							Resistencia media		335.03	kg/cm²
							Rango muestral		18.37	kg/cm²
							Varianza		42.23	
							Desviación estándar		6.50	kg/cm²
							Coeficiente de variación		1.94	%

4. Resistencia a flexión a los 28 días

Tabla 59

Resistencia a flexión del concreto patrón

Muestra	Edad (días)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Long. entre apoyos (cm)	Carga última (kg)	Módulo de rotura (kg/cm²)	
VP-01	28	15.63	14.93	45.0	3000	38.75	
VP-02		15.15	15.14	45.0	2900	37.58	
VP-03		15.10	15.08	45.0	3020	39.58	
VP-04		15.04	15.12	45.0	3100	40.57	
VP-05		15.12	15.1	45.0	2950	38.51	
				Resistencia media		39.00	kg/cm²
				Rango muestral		2.99	kg/cm²
				Varianza		1.03	
				Desviación estándar		1.01	kg/cm²
				Coeficiente de variación		2.60	%

Tabla 60*Resistencia a flexión del concreto con adición de 0.4 kg/m³ de FIBRA ZPP*

Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Long. entre apoyos (cm)	Carga última (kg)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
0.4 kg/m ³	VA-01	28	15.45	15.26	45.0	3720	46.53
	VA-02		15.27	15.41	45.0	3860	47.90
	VA-03		15.27	15.1	45.0	3780	48.86
	VA-04		15.53	15.13	45.0	3780	47.85
	VA-05		15.35	15.4	45.0	3700	45.74
					Resistencia media	47.37	kg/cm ²
					Rango muestral	3.12	kg/cm ²
					Varianza	1.22	
					Desviación estándar	1.10	kg/cm ²
					Coeficiente de variación	2.33	%

Tabla 61*Resistencia a flexión del concreto con adición de 1.2 kg/m³ de FIBRA ZPP*

Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Long. entre apoyos (cm)	Carga última (kg)	Módulo de rotura (kg/cm²)
1.2 kg/m³	VB-01	28	15.25	15.1	45.0	3860	49.95
	VB-02		15.06	15.01	45.0	3600	47.75
	VB-03		15.33	15.14	45.0	3780	48.41
	VB-04		15.34	15.12	45.0	3600	46.19
	VB-05		15.31	15.1	45.0	3740	48.21
					Resistencia media	48.10	kg/cm²
					Rango muestral	3.76	kg/cm²
					Varianza	1.46	
					Desviación estándar	1.21	kg/cm²
					Coeficiente de variación	2.51	%

Tabla 62*Resistencia a flexión del concreto con adición de 2.0 kg/m³ de FIBRA ZPP*

Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Long. entre apoyos (cm)	Carga última (kg)	Módulo de rotura (kg/cm²)
2.0 kg/m³	VC-01	28	15.34	15.32	45.0	3780	47.25
	VC-02		15.07	15.36	45.0	3920	49.61
	VC-03		15.3	15.57	45.0	3980	48.29
	VC-04		15.16	15.23	45.0	3900	49.91
	VC-05		15.22	15.4	45.0	3850	48.00
					Resistencia media	48.61	kg/cm²
					Rango muestral	2.66	kg/cm²
					Varianza	1.01	
					Desviación estándar	1.00	kg/cm²
					Coeficiente de variación	2.06	%

Tabla 63*Resistencia a flexión del concreto con adición de 0.5 kg/m³ de SikaFiber® 1225 PPM*

Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Long. entre apoyos (cm)	Carga última (kg)	Módulo de rotura (kg/cm²)
0.5 kg/m³	VD-01	28	15.04	15.04	45.0	3350	44.31
	VD-02		15.13	15.01	45.0	3280	43.30
	VD-03		15.34	15.13	45.0	3440	44.08
	VD-04		15.02	15.15	45.0	3160	41.25
	VD-05		15.14	15.16	45.0	3300	42.68
					Resistencia media	43.12	kg/cm²
					Rango muestral	3.06	kg/cm²
					Varianza	1.22	
					Desviación estándar	1.10	kg/cm²
					Coeficiente de variación	2.56	%

Tabla 64

Resistencia a flexión del concreto con adición de 0.7 kg/m³ de SikaFiber® 1225 PPM

Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Long. entre apoyos (cm)	Carga última (kg)	Módulo de rotura (kg/cm²)	
0.7 kg/m³	VE-01	28	15.28	15.12	45.0	3360	43.28	
	VE-02		15.27	15	45.0	3480	45.58	
	VE-03		15.36	15.1	45.0	3380	43.43	
	VE-04		15.3	15.1	45.0	3340	43.08	
	VE-05		15.32	15.1	45.0	3400	43.80	
					Resistencia media		43.84	kg/cm²
					Rango muestral		2.50	kg/cm²
					Varianza		0.82	
					Desviación estándar		0.90	kg/cm²
					Coeficiente de variación		2.06	%

Tabla 65

Resistencia a flexión del concreto con adición de 0.9 kg/m³ de SikaFiber® 1225 PPM

Dosificación de fibra	Muestra	Edad (días)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Long. entre apoyos (cm)	Carga última (kg)	Módulo de rotura (kg/cm²)	
0.9 kg/m³	VF-01	28	15.39	15.13	45.0	3400	43.43	
	VF-02		15.38	15.28	45.0	3540	44.36	
	VF-03		15.08	15.16	45.0	3400	44.15	
	VF-04		15.14	15.25	45.0	3650	46.65	
	VF-05		15.25	15.18	45.0	3500	44.82	
					Resistencia media		44.68	kg/cm²
					Rango muestral		3.22	kg/cm²
					Varianza		1.17	
					Desviación estándar		1.08	kg/cm²
					Coeficiente de variación		2.42	%

5. Módulo de elasticidad del concreto

Tabla 66

Módulo de elasticidad del concreto patrón y concreto con adición de fibras

Tipo de concreto	Dosificación de fibra	Muestra	P.U. (kg/m ³)	F'c (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)
Concreto patrón	0.0 kg/m ³	MP-01	2316.19	300.34	262729.41	261231.37
		MP-02	2314.02	294.98	260007.93	
		MP-03	2318.01	295.64	260971.61	
		MP-04	2316.23	297.59	261528.89	
		MP-05	2317.27	295.81	260919.00	
Concreto con adición de FIBRA ZPP	0.4 kg/m ³	MA-01	2316.06	331.79	276117.20	278291.12
		MA-02	2312.18	333.41	276095.37	
		MA-03	2313.83	344.91	281119.02	
		MA-04	2314.59	341.68	279935.70	
		MA-05	2316.25	336.70	278188.29	
	1.2 kg/m ³	MB-01	2312.59	329.46	274530.20	274653.11
		MB-02	2316.76	324.52	273199.75	
		MB-03	2313.96	330.65	275270.48	
		MB-04	2315.45	333.41	276682.29	
		MB-05	2312.35	327.29	273582.82	
	2.0 kg/m ³	MC-01	2311.68	328.49	273962.20	269745.23
		MC-02	2312.87	306.59	264876.73	
		MC-03	2310.03	319.63	269955.22	
		MC-04	2309.17	323.01	271227.87	
		MC-05	2309.55	316.88	268704.15	
Concreto con adición de SikaFiber® 1225 PPM	0.5 kg/m ³	MD-01	2307.39	341.95	278742.34	283235.20
		MD-02	2304.32	368.17	288653.81	
		MD-03	2309.46	353.54	283809.04	
		MD-04	2308.76	349.70	282133.93	
		MD-05	2306.99	352.26	282836.89	
	0.7 kg/m ³	ME-01	2309.87	342.80	279538.88	281354.12
		ME-02	2308.18	342.52	279115.60	
		ME-03	2303.62	358.10	284547.62	
		ME-04	2304.55	350.63	281738.76	
		ME-05	2306.56	349.94	281829.75	
	0.9 kg/m ³	MF-01	2306.31	334.61	275538.62	275275.07
		MF-02	2305.26	343.48	278978.62	
		MF-03	2304.73	325.11	271322.86	
		MF-04	2301.97	340.41	277131.79	
		MF-05	2301.46	331.53	273403.45	

6. Esfuerzo – deformación unitaria de especímenes cilíndricos a edad de 28 días

Tabla 67

Esfuerzo y deformación unitaria del concreto patrón obtenidos en la resistencia a compresión

MP-01		MP-02		MP-03		MP-04		MP-05	
Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
0.0007	11.02	0.0003	11.13	0.0003	10.95	0.0003	11.02	0.0003	11.06
0.0013	22.04	0.0011	22.26	0.0011	21.90	0.0011	22.04	0.0011	22.12
0.0018	33.07	0.0022	33.39	0.0018	32.85	0.0019	33.07	0.0022	33.17
0.0023	44.09	0.0029	44.53	0.0028	43.80	0.0028	44.09	0.0029	44.23
0.0030	55.11	0.0033	55.66	0.0034	54.75	0.0034	55.11	0.0033	55.29
0.0033	66.13	0.0037	66.79	0.0036	65.70	0.0035	66.13	0.0037	66.35
0.0037	77.15	0.0040	77.92	0.0039	76.65	0.0039	77.15	0.0039	77.41
0.0040	88.17	0.0043	89.05	0.0043	87.60	0.0042	88.17	0.0042	88.47
0.0042	99.20	0.0045	100.18	0.0047	98.55	0.0045	99.20	0.0044	99.52
0.0044	110.22	0.0047	111.31	0.0046	109.50	0.0046	110.22	0.0048	110.58
0.0046	121.24	0.0049	122.45	0.0050	120.45	0.0048	121.24	0.0049	121.64
0.0048	132.26	0.0051	133.58	0.0051	131.40	0.0050	132.26	0.0050	132.70
0.0050	143.28	0.0052	144.71	0.0054	142.35	0.0052	143.28	0.0052	143.76
0.0051	154.31	0.0054	155.84	0.0056	153.30	0.0054	154.31	0.0053	154.81
0.0052	165.33	0.0055	166.97	0.0056	164.24	0.0056	165.33	0.0055	165.87
0.0053	176.35	0.0056	178.10	0.0058	175.19	0.0057	176.35	0.0056	176.93
0.0055	187.37	0.0058	189.23	0.0060	186.14	0.0058	187.37	0.0058	187.99
0.0056	198.39	0.0060	200.36	0.0062	197.09	0.0061	198.39	0.0060	199.05
0.0058	209.41	0.0062	211.50	0.0063	208.04	0.0062	209.41	0.0062	210.10
0.0059	220.44	0.0063	222.63	0.0063	218.99	0.0063	220.44	0.0064	221.16
0.0060	231.46	0.0065	233.76	0.0066	229.94	0.0065	231.46	0.0064	232.22
0.0061	242.48	0.0066	244.89	0.0068	240.89	0.0066	242.48	0.0067	243.28
0.0062	253.50	0.0067	256.02	0.0069	251.84	0.0068	253.50	0.0066	254.34
0.0064	264.52	0.0069	267.15	0.0070	262.79	0.0069	264.52	0.0069	265.40
0.0065	275.55	0.0070	278.28	0.0071	273.74	0.0070	275.55	0.0070	276.45
0.0066	286.57	0.0071	289.42	0.0073	284.69	0.0072	286.57	0.0071	287.51
0.0067	297.59	0.0073	294.98	0.0074	295.64	0.0074	297.59	0.0072	295.81
0.0069	300.34								

Figura 17

Esfuerzo vs deformación unitaria del concreto patrón obtenidos en la resistencia a compresión

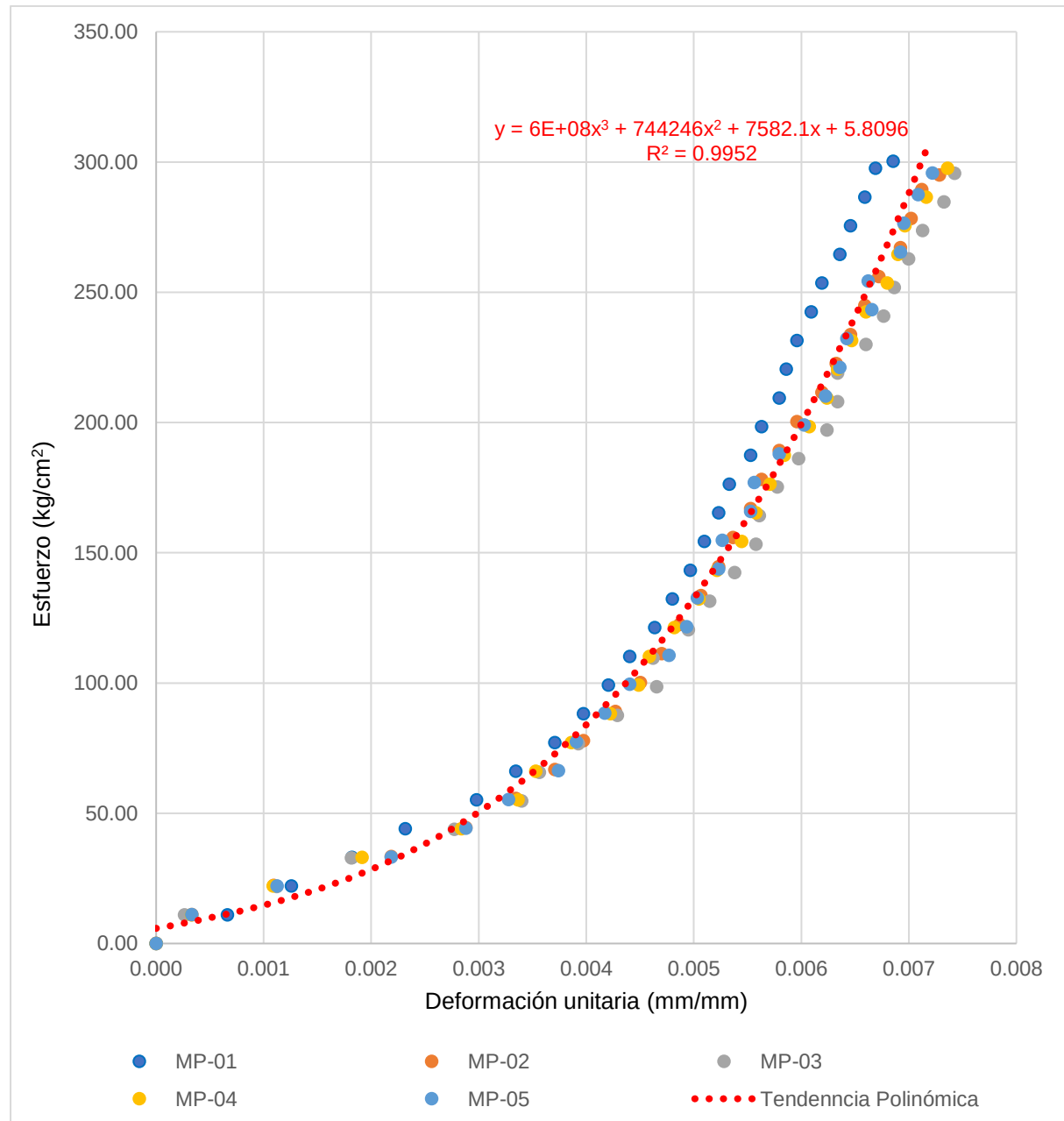


Tabla 68

Esfuerzo y deformación unitaria del concreto con adición de 0.4 kg/m³ de FIBRA ZPP

obtenidos en la resistencia a compresión

MA-01		MA-02		MA-03		MA-04		MA-05	
Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
0.0003	10.88	0.0003	11.02	0.0006	10.95	0.0003	11.02	0.0003	10.95
0.0009	21.76	0.0008	22.04	0.0012	21.90	0.0007	22.04	0.0008	21.90
0.0016	32.63	0.0015	33.07	0.0022	32.85	0.0015	33.07	0.0015	32.85
0.0022	43.51	0.0022	44.09	0.0028	43.80	0.0017	44.09	0.0022	43.80
0.0027	54.39	0.0025	55.11	0.0032	54.75	0.0020	55.11	0.0027	54.75
0.0031	65.27	0.0028	66.13	0.0037	65.70	0.0025	66.13	0.0030	65.70
0.0033	76.15	0.0032	77.15	0.0039	76.65	0.0027	77.15	0.0033	76.65
0.0036	87.03	0.0033	88.17	0.0040	87.60	0.0031	88.17	0.0036	87.60
0.0039	97.90	0.0036	99.20	0.0042	98.55	0.0034	99.20	0.0038	98.55
0.0041	108.78	0.0038	110.22	0.0043	109.50	0.0036	110.22	0.0041	109.50
0.0043	119.66	0.0040	121.24	0.0045	120.45	0.0038	121.24	0.0042	120.45
0.0045	130.54	0.0042	132.26	0.0047	131.40	0.0041	132.26	0.0044	131.40
0.0047	141.42	0.0046	143.28	0.0048	142.35	0.0042	143.28	0.0047	142.35
0.0049	152.29	0.0048	154.31	0.0051	153.30	0.0045	154.31	0.0048	153.30
0.0051	163.17	0.0051	165.33	0.0052	164.24	0.0048	165.33	0.0050	164.24
0.0052	174.05	0.0051	176.35	0.0054	175.19	0.0050	176.35	0.0051	175.19
0.0054	184.93	0.0055	187.37	0.0056	186.14	0.0052	187.37	0.0054	186.14
0.0056	195.81	0.0057	198.39	0.0056	197.09	0.0053	198.39	0.0055	197.09
0.0058	206.69	0.0060	209.41	0.0058	208.04	0.0056	209.41	0.0057	208.04
0.0059	217.56	0.0062	220.44	0.0060	218.99	0.0060	220.44	0.0058	218.99
0.0061	228.44	0.0064	231.46	0.0061	229.94	0.0063	231.46	0.0060	229.94
0.0063	239.32	0.0066	242.48	0.0062	240.89	0.0063	242.48	0.0061	240.89
0.0063	250.20	0.0067	253.50	0.0063	251.84	0.0067	253.50	0.0063	251.84
0.0065	261.08	0.0070	264.52	0.0066	262.79	0.0069	264.52	0.0065	262.79
0.0066	271.96	0.0072	275.55	0.0068	273.74	0.0070	275.55	0.0066	273.74
0.0069	282.83	0.0075	286.57	0.0070	284.69	0.0075	286.57	0.0067	284.69
0.0069	293.71	0.0078	297.59	0.0071	295.64	0.0076	297.59	0.0068	295.64
0.0071	304.59	0.0078	308.61	0.0073	306.59	0.0077	308.61	0.0070	306.59
0.0073	315.47	0.0080	319.63	0.0073	317.54	0.0080	319.63	0.0072	317.54
0.0075	326.35	0.0082	330.65	0.0074	328.49	0.0083	330.65	0.0074	328.49
0.0076	331.785	0.0083	333.41	0.0076	339.44	0.0084	341.68	0.0075	336.70
				0.0078	344.91				

Figura 18

*Esfuerzo vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.4 kg/m³ de FIBRA ZPP
obtenidos en la resistencia a compresión*

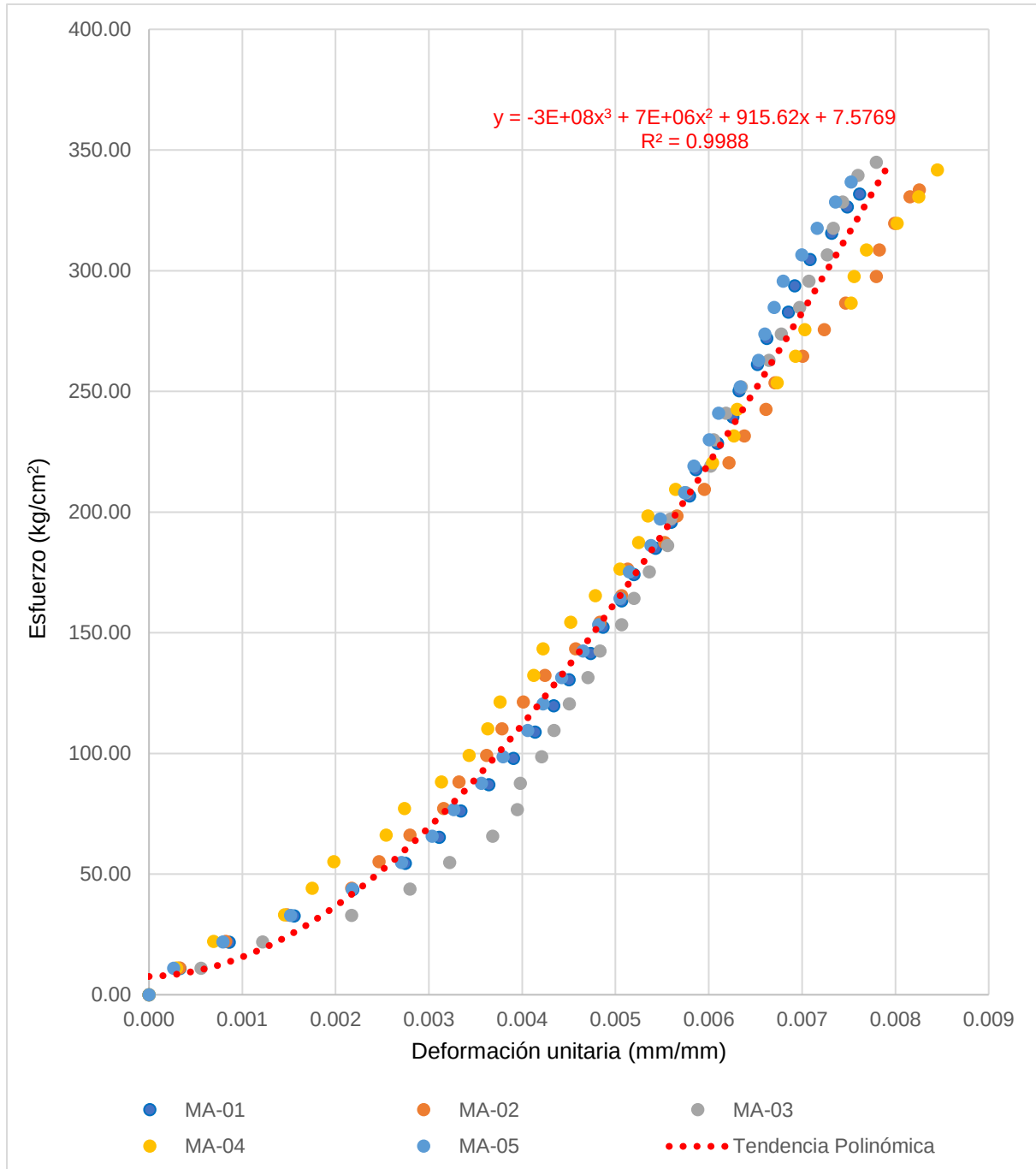


Tabla 69

Esfuerzo y deformación unitaria del concreto con adición de 1.2 kg/m³ de FIBRA ZPP

obtenidos en la resistencia a compresión

MB-01		MB-02		MB-03		MB-04		MB-05	
Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
0.0002	11.17	0.0004	11.09	0.0002	11.02	0.0001	11.02	0.0002	11.09
0.0006	22.34	0.0010	22.19	0.0006	22.04	0.0006	22.04	0.0007	22.19
0.0011	33.50	0.0014	33.28	0.0012	33.07	0.0017	33.07	0.0016	33.28
0.0022	44.67	0.0021	44.38	0.0022	44.09	0.0023	44.09	0.0027	44.38
0.0031	55.84	0.0025	55.47	0.0030	55.11	0.0028	55.11	0.0031	55.47
0.0034	67.01	0.0029	66.57	0.0035	66.13	0.0031	66.13	0.0038	66.57
0.0039	78.18	0.0031	77.66	0.0039	77.15	0.0036	77.15	0.0040	77.66
0.0042	89.35	0.0034	88.76	0.0042	88.17	0.0039	88.17	0.0042	88.76
0.0046	100.51	0.0038	99.85	0.0047	99.20	0.0042	99.20	0.0047	99.85
0.0049	111.68	0.0039	110.95	0.0049	110.22	0.0045	110.22	0.0050	110.95
0.0052	122.85	0.0041	122.04	0.0053	121.24	0.0047	121.24	0.0051	122.04
0.0055	134.02	0.0043	133.14	0.0056	132.26	0.0050	132.26	0.0056	133.14
0.0058	145.19	0.0047	144.23	0.0058	143.28	0.0050	143.28	0.0055	144.23
0.0061	156.36	0.0049	155.33	0.0060	154.31	0.0054	154.31	0.0058	155.33
0.0064	167.52	0.0051	166.42	0.0063	165.33	0.0054	165.33	0.0060	166.42
0.0065	178.69	0.0052	177.51	0.0065	176.35	0.0056	176.35	0.0060	177.51
0.0067	189.86	0.0055	188.61	0.0066	187.37	0.0059	187.37	0.0062	188.61
0.0068	201.03	0.0057	199.70	0.0068	198.39	0.0060	198.39	0.0064	199.70
0.0071	212.20	0.0060	210.80	0.0071	209.41	0.0062	209.41	0.0067	210.80
0.0072	223.37	0.0064	221.89	0.0071	220.44	0.0063	220.44	0.0068	221.89
0.0072	234.53	0.0065	232.99	0.0074	231.46	0.0065	231.46	0.0070	232.99
0.0075	245.70	0.0066	244.08	0.0076	242.48	0.0065	242.48	0.0072	244.08
0.0077	256.87	0.0069	255.18	0.0076	253.50	0.0067	253.50	0.0074	255.18
0.0081	268.04	0.0071	266.27	0.0078	264.52	0.0070	264.52	0.0076	266.27
0.0081	279.21	0.0073	277.37	0.0080	275.55	0.0071	275.55	0.0078	277.37
0.0083	290.38	0.0076	288.46	0.0081	286.57	0.0073	286.57	0.0079	288.46
0.0083	301.54	0.0077	299.56	0.0082	297.59	0.0074	297.59	0.0081	299.56
0.0085	312.71	0.0081	310.65	0.0085	308.61	0.0075	308.61	0.0081	310.65
0.0086	323.88	0.0082	321.75	0.0086	319.63	0.0077	319.63	0.0083	321.75
0.0087	329.46	0.0083	324.52	0.0087	330.65	0.0079	330.65	0.0084	327.29
						0.0082	333.41		

Figura 19

*Esfuerzo vs deformación unitaria del concreto con adición de 1.2 kg/m^3 de FIBRA ZPP
obtenidos en la resistencia a compresión*

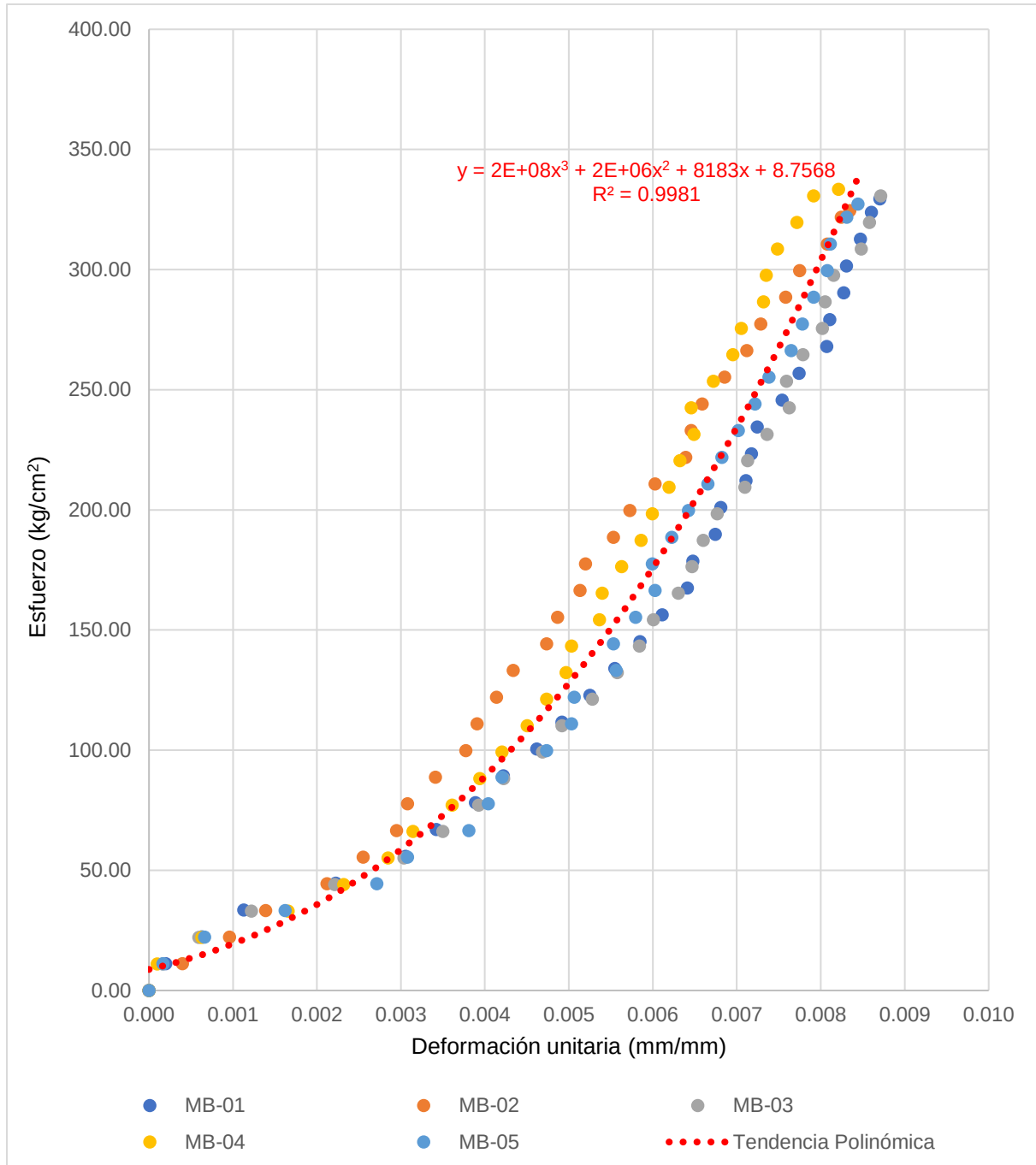


Tabla 70

Esfuerzo y deformación unitaria del concreto con adición de 2.0 kg/m³ de FIBRA ZPP

obtenidos en la resistencia a compresión

MC-01		MC-02		MC-03		MC-04		MC-05	
Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
0.0000	10.95	0.0002	10.95	0.0000	11.02	0.0000	10.95	0.0000	11.02
0.0002	21.90	0.0008	21.90	0.0005	22.04	0.0003	21.90	0.0002	22.04
0.0015	32.85	0.0019	32.85	0.0013	33.07	0.0009	32.85	0.0007	33.07
0.0021	43.80	0.0025	43.80	0.0022	44.09	0.0014	43.80	0.0014	44.09
0.0028	54.75	0.0031	54.75	0.0027	55.11	0.0019	54.75	0.0017	55.11
0.0032	65.70	0.0035	65.70	0.0033	66.13	0.0025	65.70	0.0021	66.13
0.0035	76.65	0.0038	76.65	0.0036	77.15	0.0031	76.65	0.0024	77.15
0.0038	87.60	0.0041	87.60	0.0040	88.17	0.0035	87.60	0.0028	88.17
0.0041	98.55	0.0044	98.55	0.0042	99.20	0.0038	98.55	0.0031	99.20
0.0043	109.50	0.0047	109.50	0.0046	110.22	0.0040	109.50	0.0035	110.22
0.0046	120.45	0.0051	120.45	0.0048	121.24	0.0043	120.45	0.0037	121.24
0.0047	131.40	0.0052	131.40	0.0050	132.26	0.0046	131.40	0.0040	132.26
0.0049	142.35	0.0056	142.35	0.0052	143.28	0.0049	142.35	0.0041	143.28
0.0050	153.30	0.0057	153.30	0.0055	154.31	0.0050	153.30	0.0044	154.31
0.0052	164.24	0.0061	164.24	0.0056	165.33	0.0051	164.24	0.0045	165.33
0.0054	175.19	0.0062	175.19	0.0059	176.35	0.0052	175.19	0.0046	176.35
0.0056	186.14	0.0065	186.14	0.0061	187.37	0.0056	186.14	0.0048	187.37
0.0057	197.09	0.0067	197.09	0.0064	198.39	0.0058	197.09	0.0050	198.39
0.0059	208.04	0.0069	208.04	0.0064	209.41	0.0060	208.04	0.0052	209.41
0.0060	218.99	0.0071	218.99	0.0066	220.44	0.0063	218.99	0.0055	220.44
0.0062	229.94	0.0073	229.94	0.0068	231.46	0.0065	229.94	0.0056	231.46
0.0063	240.89	0.0075	240.89	0.0070	242.48	0.0067	240.89	0.0059	242.48
0.0065	251.84	0.0077	251.84	0.0071	253.50	0.0068	251.84	0.0062	253.50
0.0069	262.79	0.0079	262.79	0.0075	264.52	0.0071	262.79	0.0064	264.52
0.0072	273.74	0.0081	273.74	0.0076	275.55	0.0073	273.74	0.0066	275.55
0.0073	284.69	0.0083	284.69	0.0078	286.57	0.0075	284.69	0.0070	286.57
0.0075	295.64	0.0086	295.64	0.0080	297.59	0.0077	295.64	0.0072	297.59
0.0076	306.59	0.0089	306.59	0.0083	308.61	0.0078	306.59	0.0076	308.61
0.0077	317.54			0.0087	319.63	0.0080	317.54	0.0077	316.88
0.0079	328.49					0.0083	323.01		

Figura 20

*Esfuerzo vs deformación unitaria del concreto con adición de 2.0 kg/m³ de FIBRA ZPP
obtenidos en la resistencia a compresión*

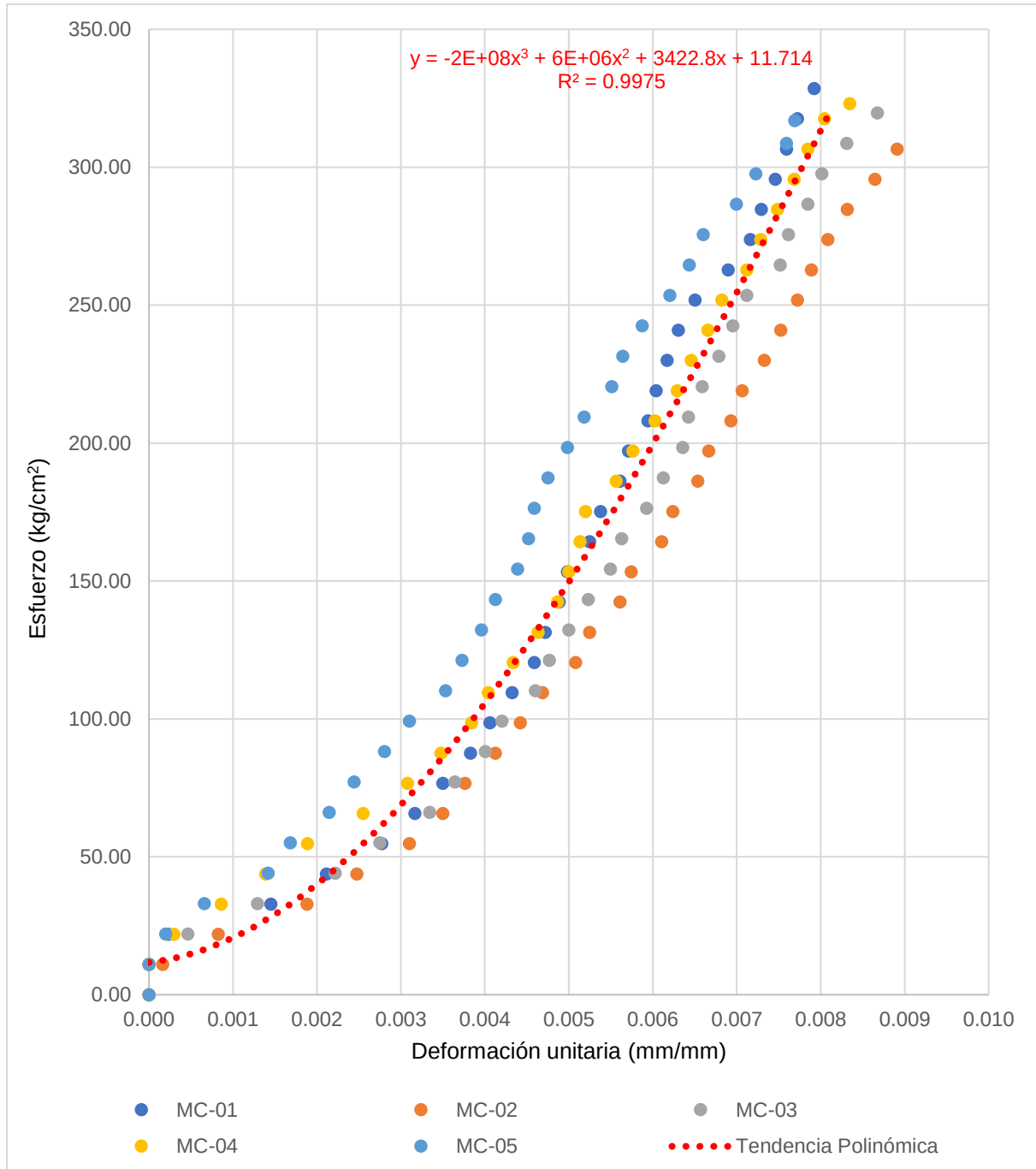


Tabla 71

Esfuerzo y deformación unitaria del concreto con adición de 0.5 kg/m³ de SikaFiber® 1225

PPM obtenidos en la resistencia a compresión

MD-01		MD-02		MD-03		MD-04		MD-05	
Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
0.0004	10.94	0.0007	11.07	0.0003	10.88	0.0004	10.93	0.0005	11.09
0.0010	21.88	0.0013	22.15	0.0010	21.76	0.0010	21.86	0.0011	22.19
0.0016	32.83	0.0023	33.22	0.0017	32.63	0.0017	32.78	0.0017	33.28
0.0023	43.77	0.0029	44.29	0.0024	43.51	0.0022	43.71	0.0024	44.38
0.0028	54.71	0.0034	55.36	0.0029	54.39	0.0027	54.64	0.0028	55.47
0.0032	65.65	0.0038	66.44	0.0032	65.27	0.0030	65.57	0.0031	66.57
0.0034	76.60	0.0041	77.51	0.0035	76.15	0.0034	76.50	0.0034	77.66
0.0037	87.54	0.0041	88.58	0.0038	87.03	0.0036	87.43	0.0037	88.76
0.0040	98.48	0.0043	99.65	0.0040	97.90	0.0038	98.35	0.0039	99.85
0.0042	109.42	0.0045	110.73	0.0042	108.78	0.0040	109.28	0.0041	110.95
0.0044	120.37	0.0047	121.80	0.0043	119.66	0.0044	120.21	0.0043	122.04
0.0046	131.31	0.0048	132.87	0.0045	130.54	0.0045	131.14	0.0046	133.14
0.0048	142.25	0.0050	143.95	0.0046	141.42	0.0048	142.07	0.0049	144.23
0.0050	153.19	0.0052	155.02	0.0048	152.29	0.0051	152.99	0.0051	155.33
0.0051	164.14	0.0053	166.09	0.0049	163.17	0.0053	163.92	0.0053	166.42
0.0053	175.08	0.0055	177.16	0.0052	174.05	0.0056	174.85	0.0055	177.51
0.0055	186.02	0.0057	188.24	0.0054	184.93	0.0057	185.78	0.0058	188.61
0.0057	196.96	0.0058	199.31	0.0056	195.81	0.0059	196.71	0.0059	199.70
0.0058	207.91	0.0059	210.38	0.0059	206.69	0.0063	207.63	0.0062	210.80
0.0060	218.85	0.0061	221.45	0.0060	217.56	0.0065	218.56	0.0065	221.89
0.0061	229.79	0.0062	232.53	0.0061	228.44	0.0066	229.49	0.0066	232.99
0.0063	240.73	0.0063	243.60	0.0062	239.32	0.0070	240.42	0.0068	244.08
0.0064	251.68	0.0066	254.67	0.0064	250.20	0.0071	251.35	0.0070	255.18
0.0066	262.62	0.0068	265.75	0.0066	261.08	0.0073	262.28	0.0073	266.27
0.0067	273.56	0.0070	276.82	0.0068	271.96	0.0077	273.20	0.0075	277.37
0.0069	284.50	0.0071	287.89	0.0069	282.83	0.0078	284.13	0.0078	288.46
0.0070	295.45	0.0073	298.96	0.0070	293.71	0.0079	295.06	0.0080	299.56
0.0072	306.39	0.0074	310.04	0.0073	304.59	0.0083	305.99	0.0082	310.65
0.0074	317.33	0.0075	321.11	0.0074	315.47	0.0086	316.92	0.0084	321.75
0.0075	328.27	0.0076	332.18	0.0075	326.35	0.0087	327.84	0.0085	332.84
0.0077	339.22	0.0077	343.26	0.0076	337.22	0.0090	338.77	0.0086	343.94
		0.0079	354.33	0.0078	348.10	0.0092	349.70	0.0089	352.26
		0.0081	365.40	0.0079	353.54				
		0.0082	368.17						

Figura 21

Esfuerzo vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.5 kg/m³ de SikaFiber® 1225

PPM obtenidos en la resistencia a compresión

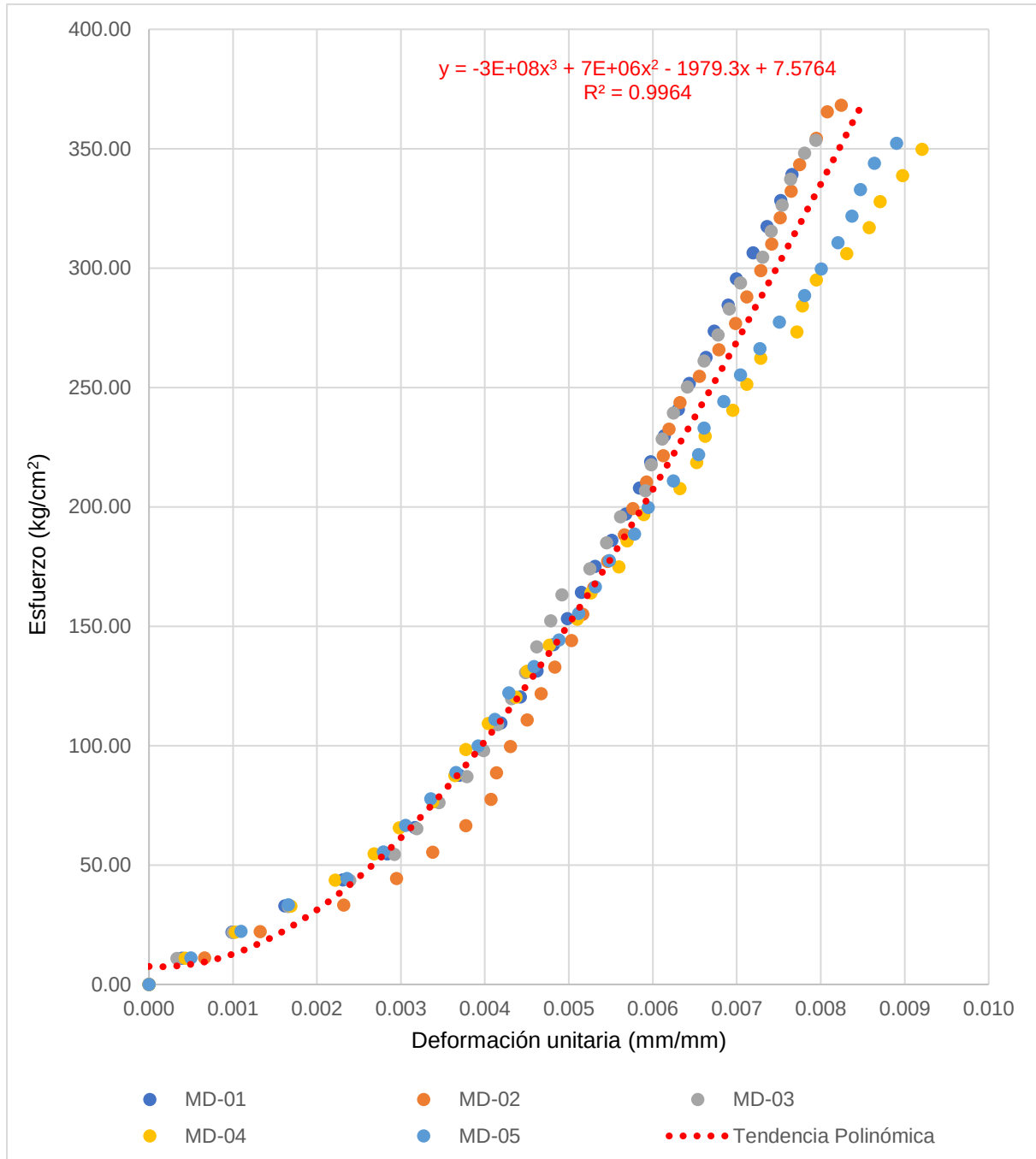


Tabla 72

Esfuerzo y deformación unitaria del concreto con adición de 0.7 kg/m³ de SikaFiber® 1225

PPM obtenidos en la resistencia a compresión

ME-01		ME-02		ME-03		ME-04		ME-05	
Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
0.0002	11.06	0.0003	11.14	0.0002	11.19	0.0003	11.04	0.0004	11.11
0.0008	21.88	0.0010	22.28	0.0009	22.38	0.0009	22.09	0.0008	22.22
0.0013	32.83	0.0018	33.42	0.0019	33.57	0.0019	33.13	0.0015	33.33
0.0023	43.77	0.0027	44.56	0.0025	44.76	0.0028	44.17	0.0023	44.44
0.0032	54.71	0.0034	55.69	0.0030	55.95	0.0032	55.22	0.0032	55.55
0.0033	65.65	0.0040	66.83	0.0034	67.14	0.0039	66.26	0.0038	66.66
0.0037	76.60	0.0044	77.97	0.0038	78.33	0.0041	77.31	0.0042	77.77
0.0042	87.54	0.0049	89.11	0.0041	89.52	0.0044	88.35	0.0046	88.87
0.0045	98.48	0.0050	100.25	0.0044	100.71	0.0049	99.39	0.0049	99.98
0.0048	109.42	0.0053	111.39	0.0047	111.90	0.0052	110.44	0.0053	111.09
0.0050	120.37	0.0055	122.53	0.0049	123.10	0.0053	121.48	0.0056	122.20
0.0052	131.31	0.0056	133.67	0.0052	134.29	0.0056	132.52	0.0058	133.31
0.0054	142.25	0.0059	144.80	0.0053	145.48	0.0058	143.57	0.0060	144.42
0.0058	153.19	0.0061	155.94	0.0055	156.67	0.0060	154.61	0.0062	155.53
0.0061	164.14	0.0062	167.08	0.0057	167.86	0.0061	165.65	0.0064	166.64
0.0063	175.08	0.0064	178.22	0.0059	179.05	0.0062	176.70	0.0065	177.75
0.0065	186.02	0.0066	189.36	0.0060	190.24	0.0064	187.74	0.0067	188.86
0.0067	196.96	0.0068	200.50	0.0062	201.43	0.0066	198.78	0.0069	199.97
0.0069	207.91	0.0070	211.64	0.0064	212.62	0.0069	209.83	0.0071	211.08
0.0071	218.85	0.0071	222.78	0.0065	223.81	0.0070	220.87	0.0072	222.19
0.0073	229.79	0.0072	233.91	0.0067	235.00	0.0072	231.92	0.0073	233.30
0.0074	240.73	0.0073	245.05	0.0067	246.19	0.0074	242.96	0.0075	244.41
0.0076	251.68	0.0075	256.19	0.0070	257.38	0.0075	254.00	0.0076	255.51
0.0078	262.62	0.0077	267.33	0.0072	268.57	0.0077	265.05	0.0077	266.62
0.0079	273.56	0.0078	278.47	0.0073	279.76	0.0079	276.09	0.0079	277.73
0.0082	284.50	0.0080	289.61	0.0075	290.95	0.0080	287.13	0.0081	288.84
0.0083	295.45	0.0081	300.75	0.0076	302.14	0.0081	298.18	0.0082	299.95
0.0085	306.39	0.0083	311.89	0.0078	313.33	0.0083	309.22	0.0084	311.06
0.0085	317.33	0.0084	323.02	0.0079	324.52	0.0084	320.26	0.0086	322.17
0.0086	328.27	0.0086	334.16	0.0081	335.71	0.0086	331.31	0.0087	333.28
0.0088	339.22	0.0088	342.52	0.0084	346.91	0.0087	342.35	0.0089	344.39
				0.0085	358.10	0.0089	350.63	0.0091	349.94

Figura 22

Esfuerzo vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.7 kg/m^3 de SikaFiber® 1225

PPM obtenidos en la resistencia a compresión

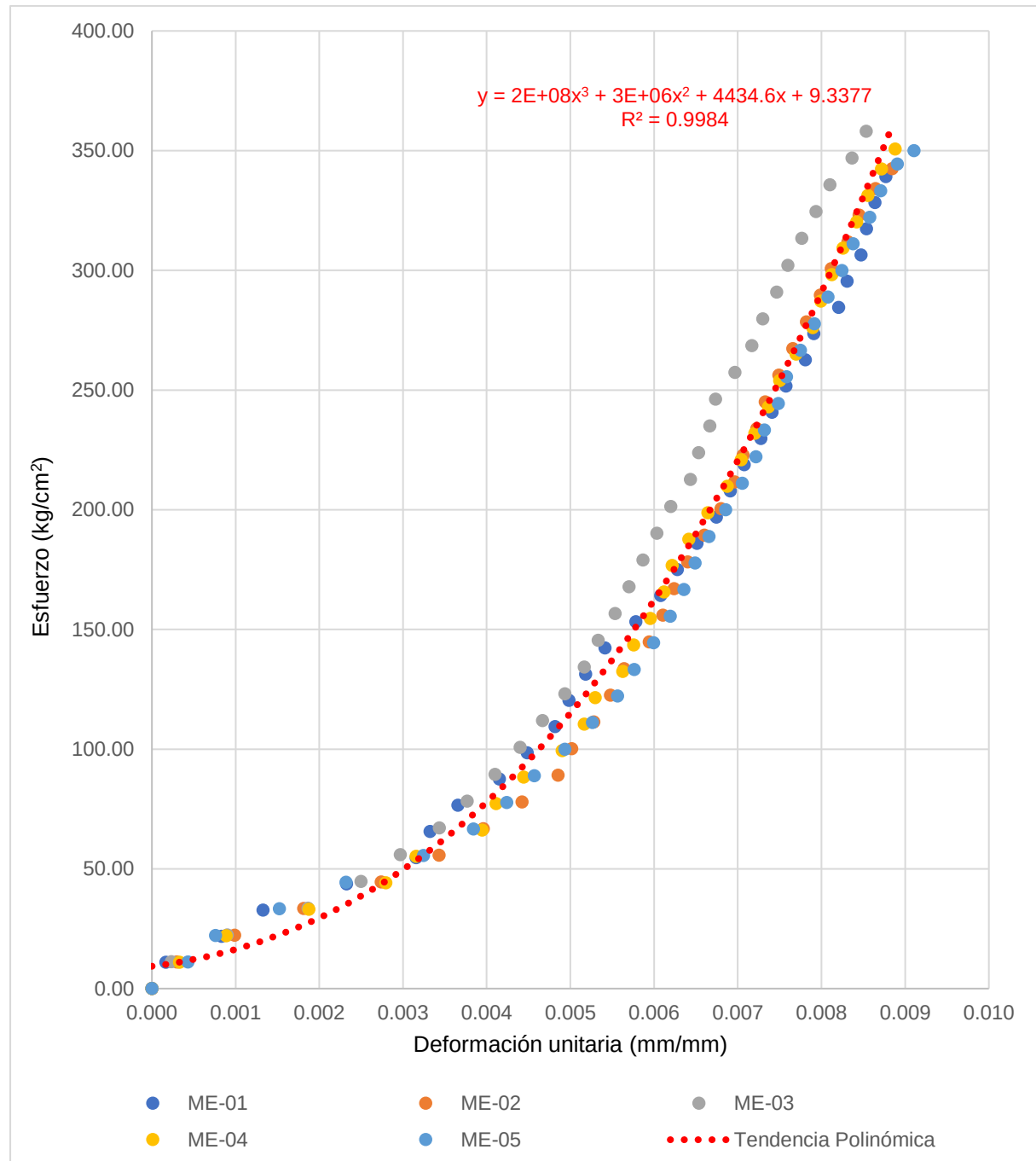


Tabla 73

Esfuerzo y deformación unitaria del concreto con adición de 0.9 kg/m³ de SikaFiber® 1225

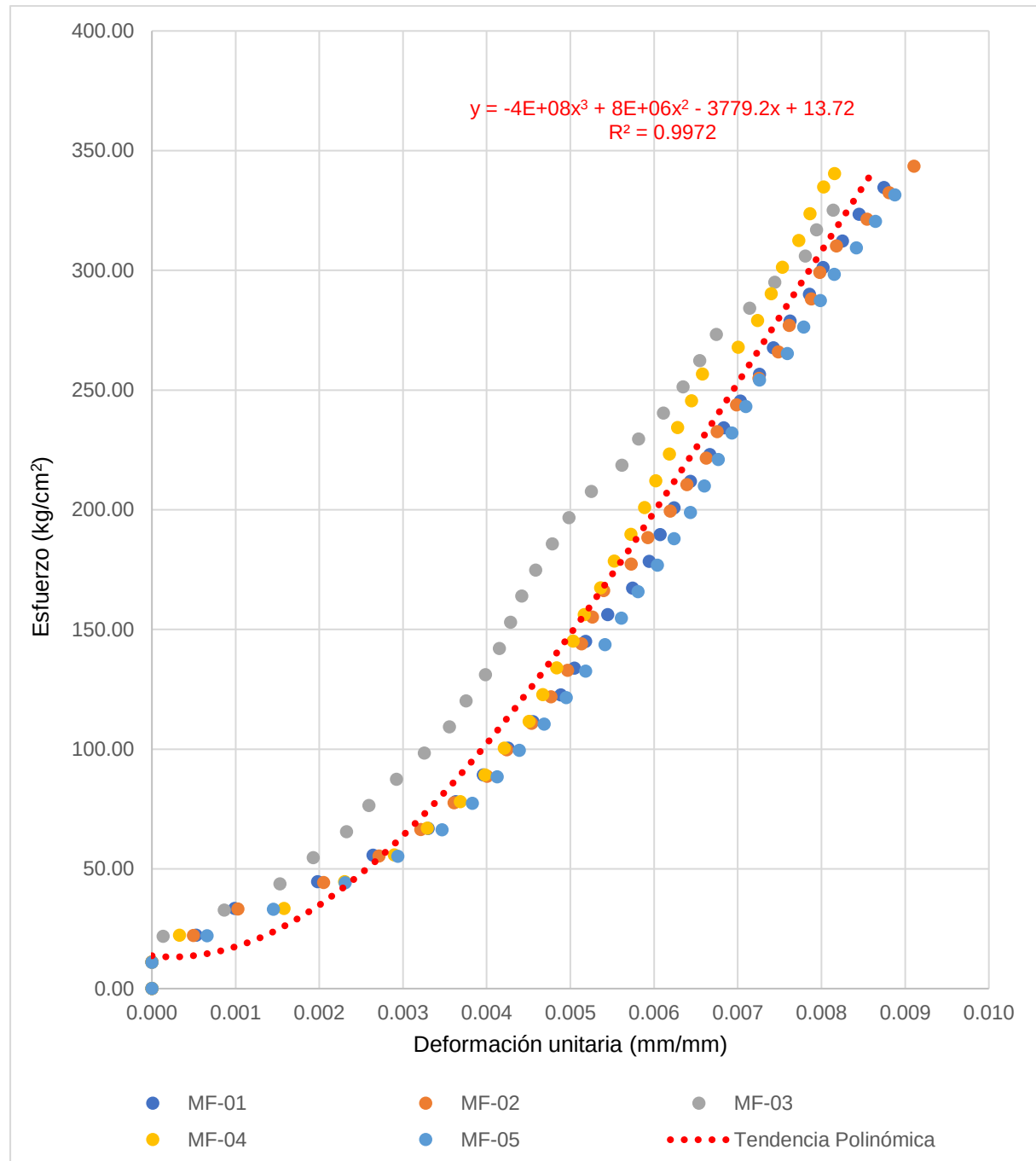
PPM obtenidos en la resistencia a compresión

MF-01		MF-02		MF-03		MF-04		MF-05	
Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Defor. unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00	0.0000	0.00
0.0000	11.15	0.0000	11.08	0.0000	10.93	0.0000	11.16	0.0000	11.05
0.0005	22.31	0.0005	22.16	0.0001	21.86	0.0003	22.32	0.0007	22.10
0.0010	33.46	0.0010	33.24	0.0009	32.78	0.0016	33.48	0.0015	33.15
0.0020	44.61	0.0021	44.32	0.0015	43.71	0.0023	44.64	0.0023	44.20
0.0026	55.77	0.0027	55.40	0.0019	54.64	0.0029	55.80	0.0029	55.25
0.0033	66.92	0.0032	66.48	0.0023	65.57	0.0033	66.97	0.0035	66.31
0.0036	78.07	0.0036	77.56	0.0026	76.50	0.0037	78.13	0.0038	77.36
0.0040	89.23	0.0040	88.64	0.0029	87.43	0.0040	89.29	0.0041	88.41
0.0043	100.38	0.0042	99.72	0.0033	98.35	0.0042	100.45	0.0044	99.46
0.0046	111.54	0.0045	110.80	0.0036	109.28	0.0045	111.61	0.0047	110.51
0.0049	122.69	0.0048	121.88	0.0038	120.21	0.0047	122.77	0.0050	121.56
0.0050	133.84	0.0050	132.96	0.0040	131.14	0.0048	133.93	0.0052	132.61
0.0052	145.00	0.0051	144.04	0.0042	142.07	0.0050	145.09	0.0054	143.66
0.0054	156.15	0.0053	155.12	0.0043	152.99	0.0052	156.25	0.0056	154.71
0.0057	167.30	0.0054	166.20	0.0044	163.92	0.0054	167.41	0.0058	165.76
0.0059	178.46	0.0057	177.28	0.0046	174.85	0.0055	178.57	0.0060	176.81
0.0061	189.61	0.0059	188.36	0.0048	185.78	0.0057	189.74	0.0062	187.86
0.0062	200.76	0.0062	199.44	0.0050	196.71	0.0059	200.90	0.0064	198.92
0.0064	211.92	0.0064	210.52	0.0052	207.63	0.0060	212.06	0.0066	209.97
0.0067	223.07	0.0066	221.60	0.0056	218.56	0.0062	223.22	0.0068	221.02
0.0068	234.22	0.0068	232.68	0.0058	229.49	0.0063	234.38	0.0069	232.07
0.0070	245.38	0.0070	243.76	0.0061	240.42	0.0064	245.54	0.0071	243.12
0.0073	256.53	0.0073	254.84	0.0063	251.35	0.0066	256.70	0.0073	254.17
0.0074	267.68	0.0075	265.92	0.0065	262.28	0.0070	267.86	0.0076	265.22
0.0076	278.84	0.0076	277.00	0.0067	273.20	0.0072	279.02	0.0078	276.27
0.0079	289.99	0.0079	288.08	0.0071	284.13	0.0074	290.18	0.0080	287.32
0.0080	301.14	0.0080	299.16	0.0074	295.06	0.0075	301.34	0.0082	298.37
0.0083	312.30	0.0082	310.24	0.0078	305.99	0.0077	312.50	0.0084	309.42
0.0084	323.45	0.0085	321.32	0.0079	316.92	0.0079	323.67	0.0086	320.48
0.0087	334.61	0.0088	332.40	0.0081	325.11	0.0080	334.83	0.0089	331.53
		0.0091	343.48			0.0082	340.41		

Figura 23

Esfuerzo vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.9 kg/m³ de SikaFiber® 1225

PPM obtenidos en la resistencia a compresión



**7. Módulo de rotura – deformación unitaria de especímenes prismáticos a edad
de 28 días**

Tabla 74

Módulo de rotura y deformación unitaria del concreto patrón obtenidos en la resistencia a flexión

VP-01		VP-02		VP-03		VP-04		VP-05	
Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00
0.00001	2.58	0.00001	2.59	0.00001	2.62	0.00001	2.62	0.00001	2.61
0.00003	5.17	0.00003	5.18	0.00002	5.24	0.00001	5.24	0.00001	5.22
0.00010	7.75	0.00009	7.77	0.00010	7.86	0.00003	7.85	0.00006	7.83
0.00015	10.33	0.00017	10.37	0.00018	10.48	0.00010	10.47	0.00013	10.44
0.00023	12.92	0.00023	12.96	0.00023	13.10	0.00015	13.09	0.00019	13.05
0.00031	15.50	0.00032	15.55	0.00031	15.73	0.00019	15.71	0.00025	15.66
0.00034	18.08	0.00039	18.14	0.00038	18.35	0.00023	18.32	0.00029	18.27
0.00042	20.67	0.00046	20.73	0.00045	20.97	0.00029	20.94	0.00037	20.88
0.00045	23.25	0.00053	23.32	0.00050	23.59	0.00033	23.56	0.00041	23.50
0.00049	25.83	0.00059	25.92	0.00052	26.21	0.00038	26.18	0.00044	26.11
0.00052	28.42	0.00065	28.51	0.00058	28.83	0.00042	28.79	0.00048	28.72
0.00058	31.00	0.00069	31.10	0.00064	31.45	0.00046	31.41	0.00052	31.33
0.00065	33.58	0.00073	33.69	0.00068	34.07	0.00050	34.03	0.00056	33.94
0.00072	36.17	0.00077	36.28	0.00072	36.69	0.00054	36.65	0.00060	36.55
0.00076	38.75			0.00076	39.31	0.00064	39.26	0.00064	38.51
				0.00080	39.58	0.00069	40.57		

Figura 24

Módulo de rotura vs deformación unitaria del concreto patrón obtenidos en la resistencia a flexión

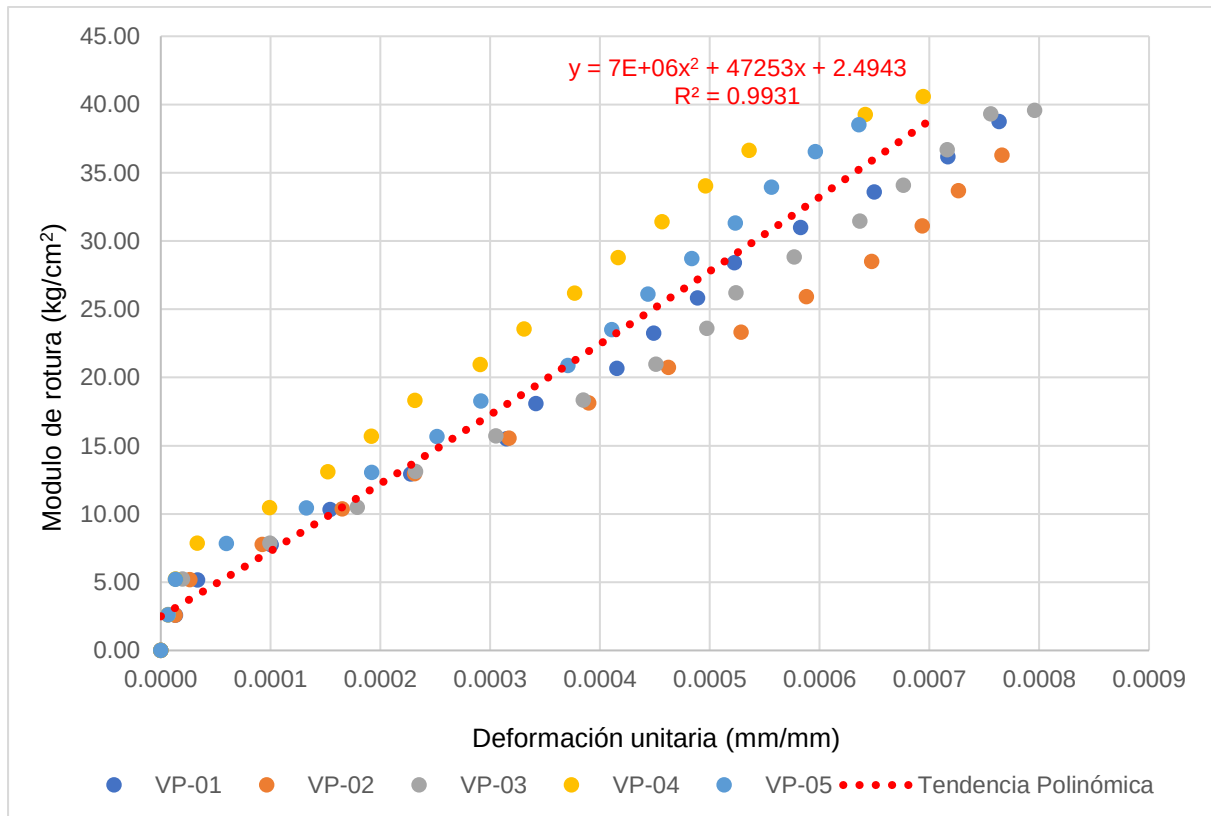


Tabla 75

Módulo de rotura y deformación unitaria del concreto con adición de 0.4 kg/m³ de FIBRA

ZPP obtenidos en la resistencia a flexión

VA-01		VA-02		VA-03		VA-04		VA-05	
Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00
0.00007	2.50	0.00009	2.48	0.00007	2.58	0.00005	2.53	0.00007	2.47
0.00018	5.00	0.00019	4.96	0.00015	5.17	0.00009	5.06	0.00016	4.94
0.00023	7.50	0.00030	7.45	0.00020	7.75	0.00016	7.59	0.00023	7.42
0.00030	10.01	0.00034	9.93	0.00023	10.34	0.00021	10.13	0.00027	9.89
0.00036	12.51	0.00037	12.41	0.00028	12.92	0.00026	12.66	0.00033	12.36
0.00041	15.01	0.00042	14.89	0.00034	15.51	0.00032	15.19	0.00038	14.83
0.00047	17.51	0.00045	17.37	0.00040	18.09	0.00037	17.72	0.00044	17.31
0.00052	20.01	0.00049	19.86	0.00046	20.68	0.00042	20.25	0.00047	19.78
0.00058	22.51	0.00051	22.34	0.00050	23.26	0.00047	22.78	0.00051	22.25
0.00063	25.02	0.00058	24.82	0.00054	25.85	0.00050	25.32	0.00056	24.72
0.00066	27.52	0.00065	27.30	0.00058	28.43	0.00054	27.85	0.00062	27.19
0.00072	30.02	0.00068	29.78	0.00064	31.02	0.00058	30.38	0.00065	29.67
0.00076	32.52	0.00071	32.27	0.00068	33.60	0.00061	32.91	0.00069	32.14
0.00081	35.02	0.00076	34.75	0.00072	36.19	0.00070	35.44	0.00075	34.61
0.00084	37.52	0.00079	37.23	0.00078	38.77	0.00076	37.97	0.00077	37.08
0.00088	40.02	0.00084	39.71	0.00082	41.36	0.00079	40.51	0.00084	39.56
0.00092	42.53	0.00088	42.19	0.00087	43.94	0.00087	43.04	0.00088	42.03
0.00096	45.03	0.00094	44.68	0.00093	46.53	0.00093	45.57	0.00093	44.50
0.00100	46.53	0.00099	47.16	0.00097	48.86	0.00098	47.85	0.00097	45.74
		0.00104	47.90						

Figura 25

Módulo de rotura vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.4 kg/m³ de FIBRA

ZPP obtenidos en la resistencia a flexión

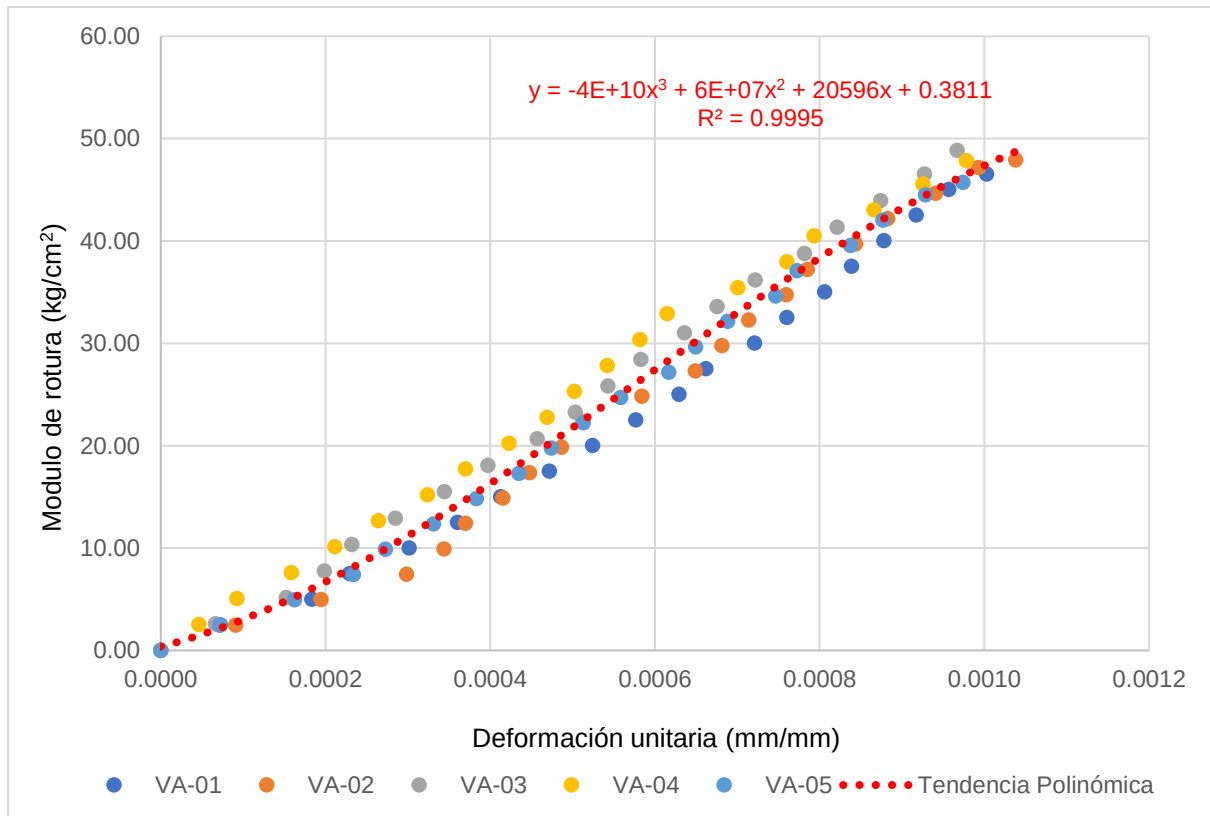


Tabla 76

Módulo de rotura y deformación unitaria del concreto con adición de 1.2 kg/m³ de FIBRA

ZPP obtenidos en la resistencia a flexión

VB-01		VB-02		VB-03		VB-04		VB-05	
Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00
0.00000	2.59	0.00000	2.65	0.00000	2.56	0.00000	2.57	0.00000	2.58
0.00004	5.18	0.00003	5.31	0.00003	5.12	0.00003	5.13	0.00003	5.16
0.00007	7.76	0.00006	7.96	0.00007	7.68	0.00009	7.70	0.00007	7.73
0.00012	10.35	0.00012	10.61	0.00017	10.24	0.00016	10.27	0.00015	10.31
0.00015	12.94	0.00016	13.26	0.00024	12.81	0.00020	12.83	0.00019	12.89
0.00019	15.53	0.00024	15.92	0.00030	15.37	0.00024	15.40	0.00023	15.47
0.00023	18.12	0.00029	18.57	0.00033	17.93	0.00030	17.96	0.00029	18.05
0.00026	20.71	0.00032	21.22	0.00036	20.49	0.00037	20.53	0.00032	20.63
0.00030	23.29	0.00038	23.87	0.00041	23.05	0.00043	23.10	0.00038	23.20
0.00034	25.88	0.00044	26.53	0.00046	25.61	0.00048	25.66	0.00043	25.78
0.00040	28.47	0.00047	29.18	0.00052	28.17	0.00052	28.23	0.00048	28.36
0.00046	31.06	0.00053	31.83	0.00056	30.73	0.00056	30.80	0.00052	30.94
0.00052	33.65	0.00058	34.48	0.00059	33.30	0.00062	33.36	0.00056	33.52
0.00058	36.24	0.00064	37.14	0.00063	35.86	0.00066	35.93	0.00063	36.09
0.00060	38.82	0.00071	39.79	0.00068	38.42	0.00069	38.50	0.00067	38.67
0.00065	41.41	0.00075	42.44	0.00071	40.98	0.00073	41.06	0.00070	41.25
0.00068	44.00	0.00078	45.09	0.00075	43.54	0.00079	43.63	0.00074	43.83
0.00072	46.59	0.00081	47.75	0.00079	46.10	0.00081	46.19	0.00077	46.41
0.00075	49.18			0.00083	48.41			0.00079	48.21
0.00079	49.95								

Figura 26

Módulo de rotura vs deformación unitaria del concreto con adición de 1.2 kg/m³ de FIBRA

ZPP obtenidos en la resistencia a flexión

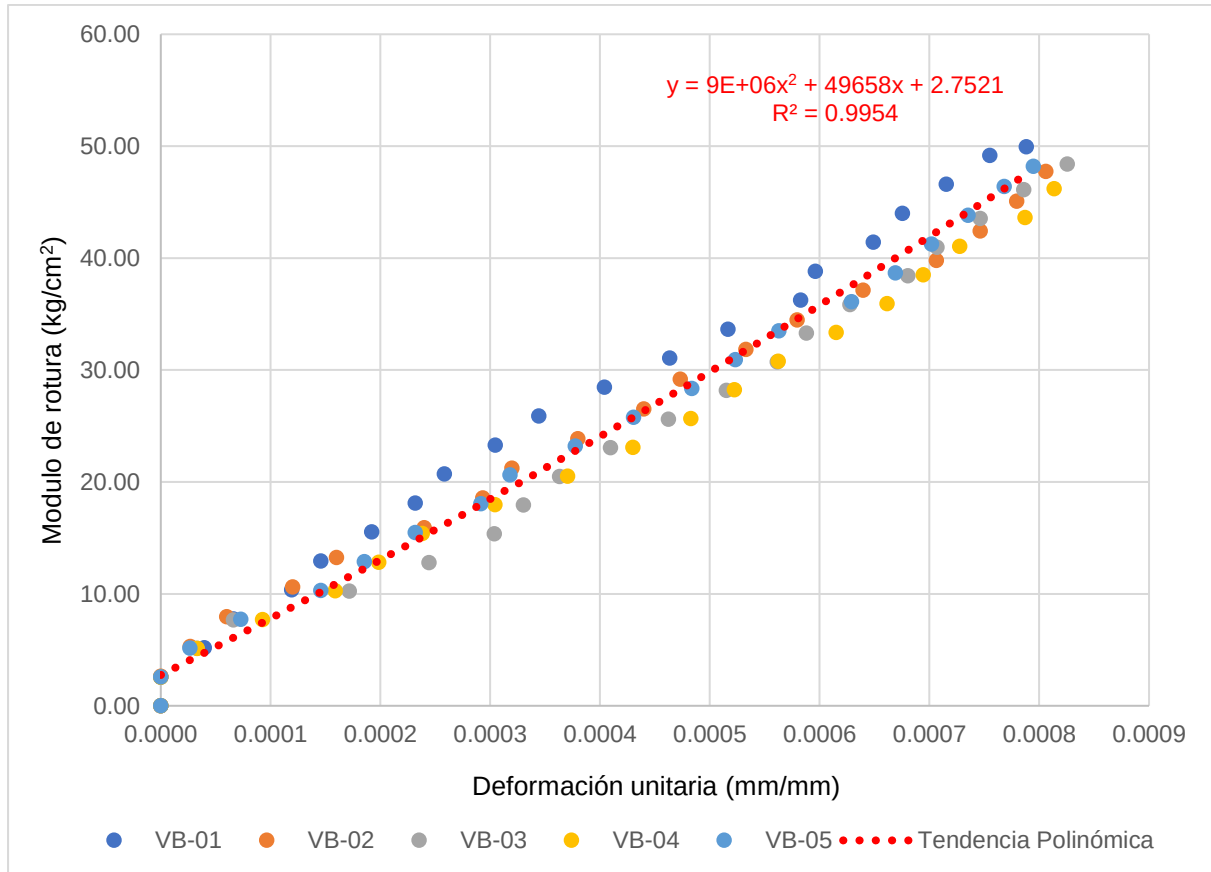


Tabla 77

Módulo de rotura y deformación unitaria del concreto con adición de 2.0 kg/m³ de FIBRA

ZPP obtenidos en la resistencia a flexión

VC-01		VC-02		VC-03		VC-04		VC-05	
Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00
0.00000	2.50	0.00000	2.53	0.00000	2.43	0.00000	2.56	0.00000	2.49
0.00006	5.00	0.00003	5.06	0.00001	4.85	0.00005	5.12	0.00003	4.99
0.00013	7.50	0.00009	7.59	0.00004	7.28	0.00009	7.68	0.00008	7.48
0.00022	10.00	0.00014	10.13	0.00008	9.71	0.00013	10.24	0.00015	9.97
0.00031	12.50	0.00020	12.66	0.00012	12.13	0.00017	12.80	0.00020	12.47
0.00039	15.00	0.00027	15.19	0.00017	14.56	0.00022	15.36	0.00027	14.96
0.00044	17.50	0.00033	17.72	0.00022	16.99	0.00026	17.92	0.00032	17.45
0.00046	20.00	0.00038	20.25	0.00029	19.41	0.00031	20.48	0.00036	19.95
0.00050	22.50	0.00043	22.78	0.00037	21.84	0.00035	23.03	0.00041	22.44
0.00058	25.00	0.00048	25.31	0.00044	24.26	0.00038	25.59	0.00046	24.93
0.00064	27.50	0.00053	27.84	0.00048	26.69	0.00044	28.15	0.00051	27.43
0.00066	30.00	0.00059	30.38	0.00051	29.12	0.00050	30.71	0.00056	29.92
0.00071	32.50	0.00064	32.91	0.00057	31.54	0.00053	33.27	0.00061	32.41
0.00076	35.00	0.00068	35.44	0.00060	33.97	0.00060	35.83	0.00066	34.91
0.00080	37.50	0.00073	37.97	0.00069	36.40	0.00066	38.39	0.00071	37.40
0.00086	40.00	0.00077	40.50	0.00072	38.82	0.00070	40.95	0.00077	39.89
0.00090	42.50	0.00081	43.03	0.00076	41.25	0.00076	43.51	0.00081	42.39
0.00094	45.00	0.00085	45.56	0.00079	43.68	0.00079	46.07	0.00083	44.88
0.00096	47.25	0.00090	48.10	0.00083	46.10	0.00084	48.63	0.00087	47.37
		0.00094	49.61	0.00087	48.29	0.00089	49.91	0.00091	48.00

Figura 27

Módulo de rotura vs deformación unitaria del concreto con adición de 2.0 kg/m³ de FIBRA

ZPP obtenidos en la resistencia a flexión

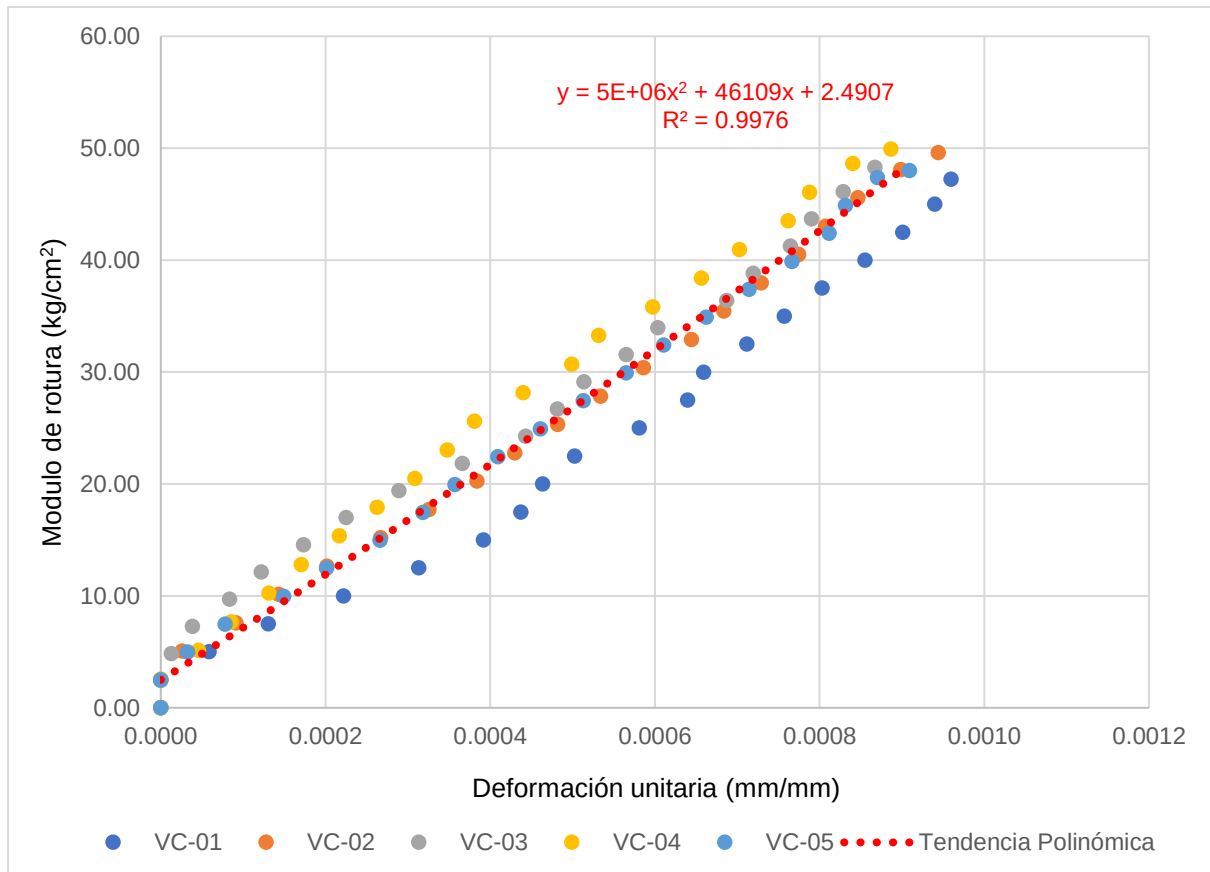


Tabla 78

Módulo de rotura y deformación unitaria del concreto con adición de 0.5 kg/m³ de

SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a flexión

VD-01		VD-02		VD-03		VD-04		VD-05	
Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00
0.00000	2.65	0.00000	2.64	0.00000	2.56	0.00000	2.61	0.00000	2.59
0.00001	5.29	0.00002	5.28	0.00003	5.13	0.00003	5.22	0.00003	5.17
0.00003	7.94	0.00006	7.92	0.00009	7.69	0.00011	7.83	0.00008	7.76
0.00005	10.58	0.00010	10.56	0.00013	10.25	0.00018	10.44	0.00013	10.35
0.00008	13.23	0.00013	13.20	0.00022	12.81	0.00026	13.05	0.00018	12.93
0.00011	15.87	0.00017	15.84	0.00026	15.38	0.00032	15.66	0.00022	15.52
0.00016	18.52	0.00021	18.48	0.00032	17.94	0.00038	18.27	0.00027	18.11
0.00021	21.16	0.00027	21.12	0.00039	20.50	0.00042	20.89	0.00032	20.69
0.00027	23.81	0.00031	23.76	0.00042	23.07	0.00046	23.50	0.00036	23.28
0.00031	26.45	0.00037	26.40	0.00046	25.63	0.00050	26.11	0.00045	25.87
0.00037	29.10	0.00040	29.04	0.00048	28.19	0.00055	28.72	0.00049	28.45
0.00040	31.75	0.00043	31.68	0.00054	30.76	0.00059	31.33	0.00057	31.04
0.00044	34.39	0.00047	34.32	0.00061	33.32	0.00062	33.94	0.00061	33.62
0.00049	37.04	0.00051	36.96	0.00063	35.88	0.00066	36.55	0.00066	36.21
0.00053	39.68	0.00055	39.60	0.00068	38.44	0.00076	39.16	0.00072	38.80
0.00057	42.33	0.00057	42.24	0.00072	41.01	0.00079	41.25	0.00077	41.38
0.00061	44.31	0.00060	43.30	0.00076	43.57			0.00080	42.68
				0.00077	44.08				

Figura 28

Módulo de rotura vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.5 kg/m³ de SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a flexión

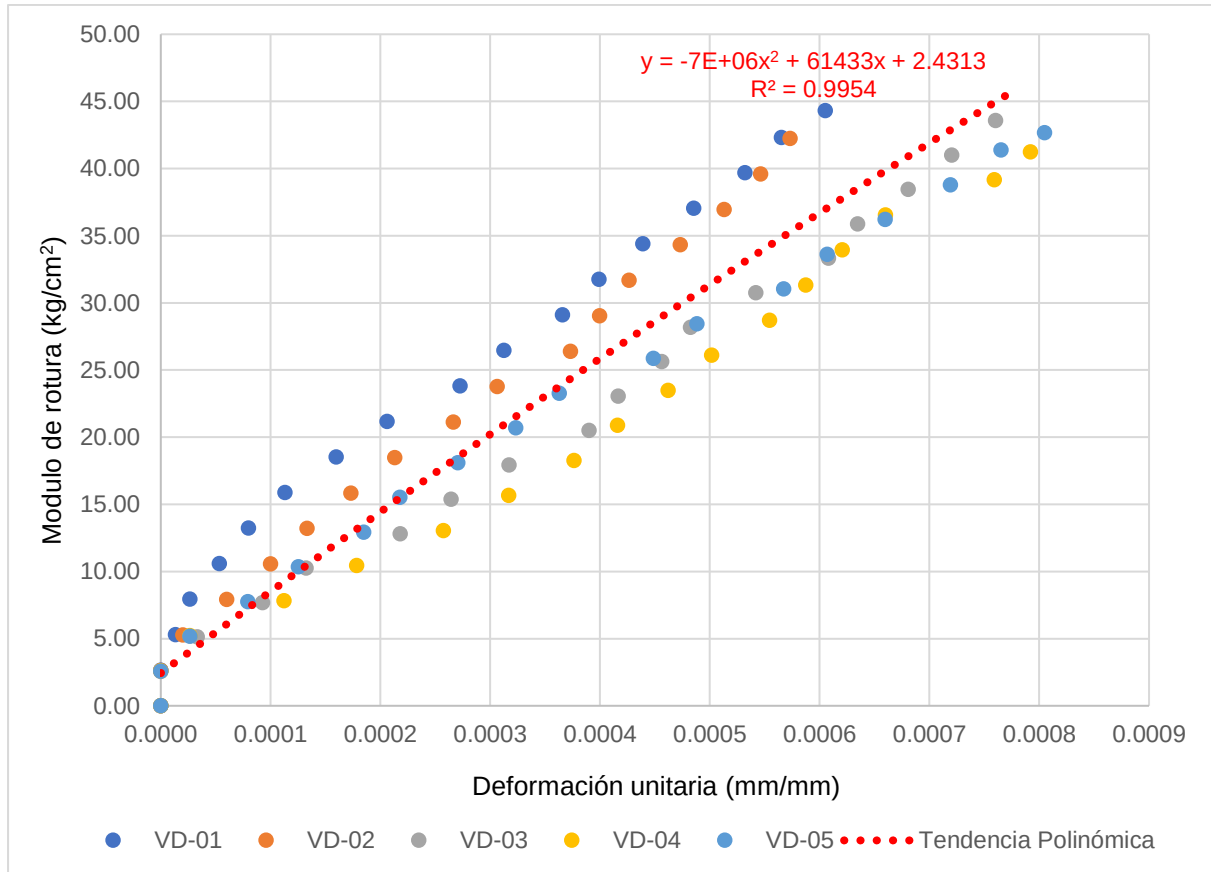


Tabla 79

Módulo de rotura y deformación unitaria del concreto con adición de 0.7 kg/m³ de

SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a flexión

VE-01		VE-02		VE-03		VE-04		VE-05	
Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00
0.00000	2.58	0.00000	2.62	0.00000	2.57	0.00000	2.58	0.00000	2.58
0.00000	5.15	0.00000	5.24	0.00000	5.14	0.00000	5.16	0.00000	5.15
0.00003	7.73	0.00003	7.86	0.00007	7.71	0.00003	7.74	0.00005	7.73
0.00007	10.31	0.00007	10.48	0.00010	10.28	0.00005	10.32	0.00006	10.31
0.00014	12.88	0.00010	13.10	0.00013	12.85	0.00008	12.90	0.00012	12.88
0.00019	15.46	0.00014	15.72	0.00017	15.42	0.00009	15.48	0.00015	15.46
0.00022	18.03	0.00019	18.34	0.00023	17.99	0.00012	18.06	0.00018	18.04
0.00026	20.61	0.00025	20.96	0.00028	20.56	0.00015	20.64	0.00023	20.61
0.00031	23.19	0.00029	23.58	0.00032	23.13	0.00020	23.22	0.00028	23.19
0.00036	25.76	0.00034	26.20	0.00037	25.70	0.00025	25.80	0.00031	25.76
0.00040	28.34	0.00039	28.81	0.00040	28.27	0.00029	28.38	0.00036	28.34
0.00044	30.92	0.00043	31.43	0.00042	30.84	0.00032	30.96	0.00038	30.92
0.00048	33.49	0.00048	34.05	0.00046	33.41	0.00035	33.54	0.00044	33.49
0.00051	36.07	0.00053	36.67	0.00051	35.98	0.00039	36.12	0.00048	36.07
0.00053	38.65	0.00057	39.29	0.00053	38.55	0.00045	38.70	0.00052	38.65
0.00056	41.22	0.00060	41.91	0.00057	41.12	0.00049	41.28	0.00055	41.22
0.00060	43.28	0.00064	44.53	0.00060	43.43	0.00053	43.08	0.00058	43.80
		0.00069	45.58						

Figura 29

Módulo de rotura vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.7 kg/m³ de SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a flexión

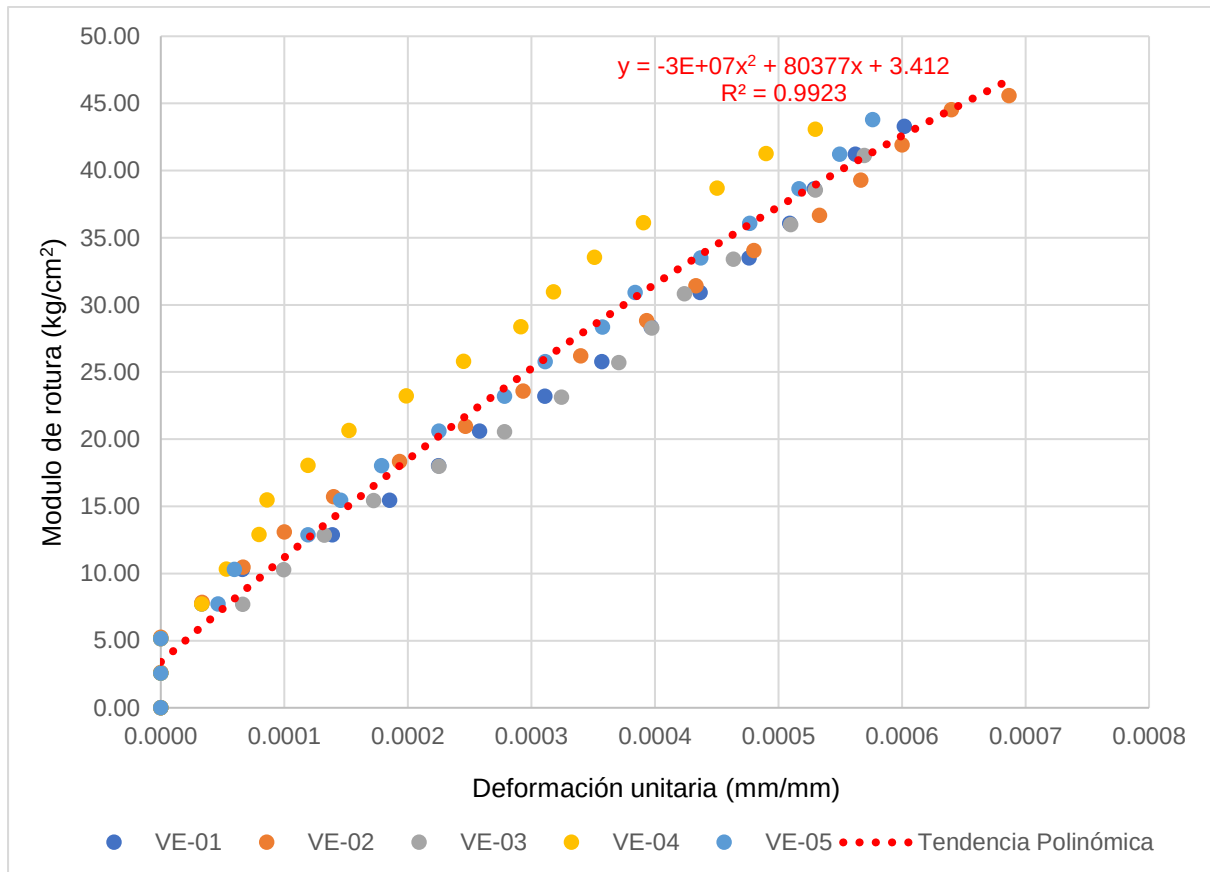


Tabla 80

Módulo de rotura y deformación unitaria del concreto con adición de 0.9 kg/m³ de

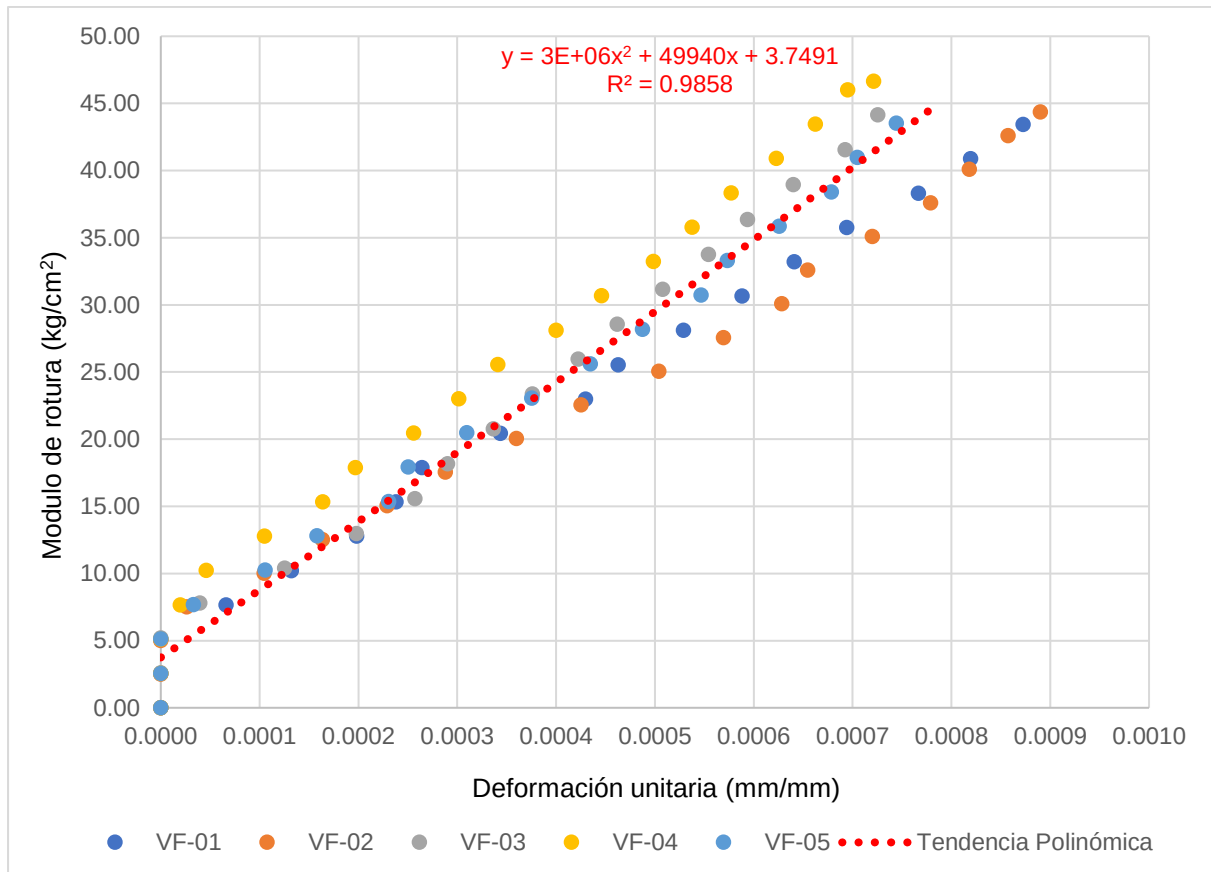
SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a flexión

VF-01		VF-02		VF-03		VF-04		VF-05	
Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)	Deform. unitaria (mm/mm)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00	0.00000	0.00
0.00000	2.55	0.00000	2.51	0.00000	2.60	0.00000	2.56	0.00000	2.56
0.00000	5.11	0.00000	5.01	0.00000	5.19	0.00000	5.11	0.00000	5.12
0.00007	7.66	0.00003	7.52	0.00004	7.79	0.00002	7.67	0.00003	7.68
0.00013	10.22	0.00010	10.03	0.00013	10.39	0.00005	10.22	0.00011	10.24
0.00020	12.77	0.00016	12.53	0.00020	12.98	0.00010	12.78	0.00016	12.81
0.00024	15.33	0.00023	15.04	0.00026	15.58	0.00016	15.34	0.00023	15.37
0.00026	17.88	0.00029	17.54	0.00029	18.18	0.00020	17.89	0.00025	17.93
0.00034	20.44	0.00036	20.05	0.00034	20.77	0.00026	20.45	0.00031	20.49
0.00043	22.99	0.00043	22.56	0.00038	23.37	0.00030	23.00	0.00038	23.05
0.00046	25.55	0.00050	25.06	0.00042	25.97	0.00034	25.56	0.00043	25.61
0.00053	28.10	0.00057	27.57	0.00046	28.57	0.00040	28.12	0.00049	28.17
0.00059	30.66	0.00063	30.08	0.00051	31.16	0.00045	30.67	0.00055	30.73
0.00064	33.21	0.00065	32.58	0.00055	33.76	0.00050	33.23	0.00057	33.29
0.00069	35.76	0.00072	35.09	0.00059	36.36	0.00054	35.79	0.00063	35.86
0.00077	38.32	0.00078	37.60	0.00064	38.95	0.00058	38.34	0.00068	38.42
0.00082	40.87	0.00082	40.10	0.00069	41.55	0.00062	40.90	0.00070	40.98
0.00087	43.43	0.00086	42.61	0.00073	44.15	0.00066	43.45	0.00074	43.54
		0.00089	44.36			0.00070	46.01	0.00078	44.82
						0.00072	46.65		

Figura 30

Módulo de rotura vs deformación unitaria del concreto con adición de 0.9 kg/m³ de

SikaFiber® 1225 PPM obtenidos en la resistencia a flexión



Anexo 4. Constancia de uso de laboratorio



Universidad Nacional de Cajamarca
FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Ensayo de Materiales



El jefe del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca expide, la siguiente:

CONSTANCIA

A nombre del Bach. EDWIN CARLOS TORRES PALACIOS, Exalumno de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, con la cual se da constancia que se han realizado las siguientes actividades:

ÍTEM	DETALLE
01	Ensayo contenido de humedad
02	Ensayo análisis granulométrico
03	Ensayo peso unitario suelto y compactado
04	Ensayo peso específico
05	Ensayo de absorción
06	Ensayo de resistencia a la degradación, por abrasión e impacto
07	Ensayo material más fino que pasa el tamiz N° 200
08	Elaboración de especímenes cilíndricos Y prismáticos de concreto
09	Ensayo a compresión en muestras cilíndricas
10	Ensayo a flexión en muestras prismáticas

Para la Tesis Titulada: **"VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DE UN CONCRETO $F'_{C} = 210 \text{ KG/CM}^2$ AL ADICIONAR SIKAFIBER®-1225 PPM Y FIBRA ZPP EN COMPARACIÓN CON EL CONCRETO TRADICIONAL"**. Las actividades se desarrollaron del 03 de junio al 25 julio de 2025.

Se expide el presente, para fines que se estime conveniente.

Cajamarca, 02 de octubre de 2025.

Atentamente:

C.C. a:
_Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Dr. Ing. Miguel A. Mosquera Moreno
JEFE DEL LABORATORIO ENSAYO DE MATERIALES

Mayo 2025 VI

CEMENTO TIPO I “ESTRUCTURAL”

DESCRIPCIÓN

Cemento Portland de uso general Tipo I. Gracias a su diseño de clinker, se logra una mejor resistencia a la compresión garantizando óptimos resultados en tu obra.

ATRIBUTOS

Altas resistencias a todas las edades

- Desarrolla altas resistencias iniciales que garantiza un adecuado avance de obra.
- El diseño correcto en concreto garantiza un menor tiempo de desencofrado.

PRESENTACIONES

*En cumplimiento de la Norma Metrología Peruana (NMP 002-2018)

RECOMENDACIONES DE USO

Utilizar agregados y materiales de buena calidad.

A mayor sea la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua.

DOSIFICACIONES RECOMENDADAS

- Las proporciones de los materiales están sujetas a la calidad de los agregados de la zona, y a la ejecución de un diseño de mezclas por un experto, pero es aceptado que con materiales aprobados para construcción se usen las siguientes proporciones.

Aplicación	Resistencia (f'c)	Cemento	Arena limpia	Piedra de tamaño máximo 19 mm	Agua
Losas aligeradas, placas y otros	175	1	2	3	0.3 (*)
Vigas y columnas	210	1	2	2	0.3 (*)

(*) El agua debe ser la suficiente para lograr una consistencia trabajable (slump de 5 a 6 pulgadas), la mezcla no debe estar muy aguada, debe poder levantarse con un badilejo sin escurrirse rápidamente.

- Para otro tipo de concreto se requiere un diseño de mezclas específico, si se usan aditivos el agua debe reducirse.
- Usar un único recipiente de medida.

RECOMENDACIONES DE ALMACENAMIENTO

- 1 Los primeros cementos que entren, deben ser los primeros en salir.
- 2 Las bolsas de cemento deben almacenarse a una distancia de 15 cms como mínimo de las paredes del almacén y 60 cms de otras pilas.
- 3 Cubrir con una capa impermeable para evitar la humedad.
- 4 Reducir tiempo de almacenamiento cuando las temperaturas sean menores a 10°C.
- 5 Revisar la bolsa de cemento antes de usarla para verificar si es que tiene grumos. En caso tenga grumos, antes de su uso tamizar la bolsa.
- 6 Colocar pañuelos de madera para evitar la humedad del suelo.
- 7 Evitar la circulación del aire entre bolsas en el apilado.

Pacasmayo

Para más información ingresa a:
www.cementospacasmayo.com.pe
 O escanea el código QR:



¿QUÉ ES EL ECOSACO?

Bolsa que se disgrega con la acción de la piedra en mezclas de concreto.

BENEFICIOS DE USAR ECOSACO

- El Ecosaco reducirá el riesgo de exposición al polvo del cemento al maestro ya que va directamente al trompo sin necesidad de abrir la bolsa cuando se ejecutan las mezclas de concreto.
- El Ecosaco **genera cero desperdicios**, con la acción de la piedra el empaque se disgrega en la mezcla de concreto.
- El Ecosaco mejora la productividad, ahorra en el tiempo de limpieza en obra y gestión de desechos de construcción.

CÓMO USAR EL ECOSACO EN 5 MINUTOS

- 1. AÑADE** la mitad de la proporción de agua (A) y luego introduce el Ecosaco (en seco) directo a un trompo de al menos 340 litros.
- 2. AÑADE** el total de los áridos: piedra (B) y arena (C) en el trompo; según el diseño de concreto.
- 3. AJUSTA** la mezcla añadiendo el resto de la proporción de agua y asegura que toda la bolsa este incorporada en la mezcla para lograr una correcta integración.
- 4. MEZCLA** hasta tener un resultado homogéneo y con la fuerza buscada.

ESCALA DE EMISIONES DE CARBONO

	Factor Óxido	Emisiones
Bajo	hasta 70%	300 a 700 Kg CO2 eq
Medio	71% a 85%	701 a 800 Kg CO2 eq
Alto	86% a 100%	801 Kg CO2 eq a más

*Tipo I se encuentra en el rango alto en emisiones de carbono según el informe de auditoría realizado por Ecoamet 2022.

*Los resultados presentados corresponden por tonelada (TN) de cemento.

CERTIFICACIÓN EN CUMPLIMIENTO DEL DECRETO SUPREMO N° 001-2022-PRODUCE

Certificación que valida el cumplimiento del **Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico** utilizado en Edificaciones y Construcciones en General.

Empresa Certificadora:

ICONTEC, Organismo de certificación internacional reconocido por el IAF (Foro Internacional de Acreditación) con alta experiencia certificando productos y servicios en el mundo.



197 CALLES
RETOC 150
Santiago, Chile

197 CALLES
RETOC 150
Santiago, Chile

Cementos Pacasmayo optó por el modelo de certificación más alto y riguroso obteniendo la máxima certificación: Esquema Tipo 5.

1

2

3

4

5

*Tipos de esquema de certificación:

Esquema Tipo 5: Certifica el proceso productivo y la comercialización, verificación del sistema de gestión de calidad en el comercializador, verificación del control de la producción en planta y verificación del sistema de gestión de calidad en planta.

CERTIFICACIONES QUE PUEDES ALCANZAR POR USO DEL PRODUCTO

Este producto puede contribuir a obtener puntos en las siguientes certificaciones de construcción sostenible:

LEED®



- Tiene Declaración Ambiental de Producto de Tipo III, validada por un tercero.
- Certificación ISO 14001.

Con estas características el cemento Tipo I puede contribuir a alcanzar 1 punto en la categoría de materiales y recursos de la certificación LEED.

Bono Mi Vivienda Sostenible



- Cumple con los requerimientos del Bono Mi Vivienda Sostenible del Fondo Mi Vivienda para Eco Materiales, **hasta el grado 3.**

CERTIFICACIONES DE LA COMPAÑÍA



También miembros de **gbc**®

Pacasmayo

Para más Información Ingresa a:
www.cementospacasmayo.com.pe
O escanea el código QR:





Cemento Tipo I

Cemento Portland de uso general Tipo I

Requisitos normalizados - NTP 334.009 / ASTM C150

REQUISITOS QUÍMICOS

ENSAYOS	TIPO	VALDR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
MgO	Máximo	6.0	%	NTP 334.086	< 3.0
SO ₃	Máximo	3.00	%	NTP 334.086	< 2.5 - 2.95 >
Pérdida por ignición	Máximo	3.5	%	NTP 334.086	< 3.3
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	NTP 334.086	< 1.2

REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALDR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
Contenido de aire en Mortero	Máximo	12	%	NTP 334.048	< 7 - 10 >
Finura					
Superficie específica	Mínimo	260	m ² /kg	NTP 334.002	>= 380
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	< 0.20
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	12.0 (1740)	MPa (psi)	NTP 334.051	>= 24.1 (>= 3500)
7 días	Mínimo	19.0 (2760)	MPa (psi)	NTP 334.051	>= 30.3 (>= 4400)
28 días**	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	>= 37.9 (>= 5500)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	< 110 - 150 >
Fraguado final	Máximo	375	Minutos	NTP 334.006	< 230 - 260 >
Expansión en barra de mortero curada en agua a 14 días	Máximo	0.020	%	NTP 334.093	< 0.010

*Valores promedios referenciales de lotes despachados / **Requisito opcional.

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos físicos y químicos de la NTP 334.009 y la ASTM C150.

Pacasmayo

Para más información ingresa a:
www.cementospacasmayo.com.pe
 O escanea el código QR:



Anexo 6. Ficha técnica de SikaFiber® 1225 PPM



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

SikaFiber® 1225 PPM

MICROFIBRA SINTÉTICA DE MONOFILAMENTO.

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaFiber® 1225 PPM es una fibra de polipropileno de monofilamento (fabricada con 100% de resina de polipropileno virgen) diseñada específicamente para su uso en hormigón como refuerzo secundario. Específicamente diseñado y fabricado en una instalación de fabricación certificada con ISO 9001. SikaFiber-1225 PPM está diseñado para controlar el agrietamiento por retracción plástica por secado y por asentamiento.

USOS

SikaFiber® 1225 PPM se puede utilizar en todo tipo de concreto. Las aplicaciones típicas incluyen:

- Losas
- Aceras
- Calzadas
- Cubiertas
- Bordillos
- Elementos prefabricados
- Revestimientos, etc.

SikaFiber® 1225 PPM actúa físicamente reforzando al concreto con una red de fibra multidimensional. SikaFiber® 1225 PPM puede disminuir el agrietamiento por retracción plástica y por secado y aumenta la resistencia al impacto. En caso de que el concreto (ya endurecido) esté expuesto al fuego, la presencia de SikaFiber®-1225 PPM reduce el desprendimiento explosivo del concreto (spalling).

No afecta químicamente el proceso de curado, fraguado y no absorbe agua. No reemplaza el curado.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Manejo simple, facilidad de trabajo.
- Reduce el agrietamiento por retracción plástica.
- Proporciona refuerzo multidimensional.
- Mejora la resistencia al impacto, rotura y abrasión del concreto.
- Reduce la exudación.
- Reduce el daño por ciclos hielo - deshielo.
- Excelente terminación a la vista.
- Mayor durabilidad.
- Reducción de desprendimiento en caso de incendio.

CERTIFICADOS / NORMAS

Cumple con la norma europea EN 14889-2 fibras para concreto Parte 2: Clase Ia.

Cumple con ASTM C1116 / C1116M, concreto reforzado con fibra tipo III y también con ASTM D7508

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Base Química	Polipropileno
Empaques	• Bolsas hidrosolubles de 0.6 kg, 35 bolsas por caja.
Apariencia / Color	Microfibra sintética monofilamento de color blanco.
Vida Útil	Por la naturaleza del empaque (hidrosoluble) se recomienda darle uso dentro de los 5 años a partir de la fecha de fabricación.
Condiciones de Almacenamiento	SikaFiber®1225 PPM se debe almacenar en un ambiente seco, en su envase original y cerrado. Evitar contacto directo con la intemperie.
Densidad	0.91 g/cm ³
Dimensiones	• Longitud: Entre 12.7 mm y 19 mm • Diámetro: entre 0,030 - 0,050 mm. • Relación de aspecto: varía de 250 a 630
Punto de Fusión	Entre 162 °C

INFORMACIÓN TÉCNICA

Absorción de Agua	No tiene absorción.
Resistencia a la Alcalinidad	Excelente

INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

Dosificación Recomendada	La dosis de SikaFiber®1225 PPM varía según el tipo de aplicación y los requisitos de rendimiento y desempeño. La proporción de dosis recomendada estándar está entre 0,5 - 0,9 kg/m ³ para reducir la fisuración por contracciones plásticas. Al menos 0.9kg/m ³ para mejorar la resistencia al impacto y entre 1 - 2 kg/m ³ para mejorar la resistencia al fuego.
Dosificación	Se puede agregar SikaFiber®1225 PPM en la bolsa hidrosoluble directamente al sistema de mezcla de concreto después de agregar el total del material al mixer y mezclar al menos 4 a 5 minutos o 70 revoluciones. La adición de SikaFiber®1225 PPM en el rango de dosisrecomendado no requiere ningún diseño de mezcla específico o cambios del mismo. El concreto con fibra se puede mezclar, bombear o colocar utilizando equipos convencionales.

Foja De Datos Del Producto
SikaFiber®1225 PPM
Mayo 2022, Versión 01.02



Anexo 7. Ficha técnica de FIBRA ZPP

HOJA TÉCNICA

FIBRA ZPP

Microfibra sintética para refuerzo en concreto



DESCRIPCIÓN:

Microfibra sintética de polipropileno orientada al refuerzo en concreto. FIBRA ZPP reduce la fisuración por retracción plástica dentro de las primeras horas de vaciado. Reduce el efecto de spalling en concretos sometidos a altas temperaturas. Incrementa las resistencias a la abrasión e impacto en las estructuras.

USOS:

- Industria de prefabricados de concreto.
- En la construcción de losas industriales.
- En la construcción de pavimentos rígidos.
- En la construcción de canales de irrigación.
- En la construcción de túneles viales o ferroviarios con blindaje de concreto.

VENTAJAS:

- Incrementa la resistencia a la flexión.
- Reduce la fisuración por retracción plástica.
- De fácil dosificación e integración en las mezclas de concreto.
- Minimiza el efecto spalling en concretos sometidos a altas temperaturas.
- Mejora las resistencias a la abrasión, impacto y fatiga en las estructuras.

APLICACIÓN:

- Una vez definida la cantidad por metro cúbico a utilizar. Añadir las bolsas de FIBRA ZPP a la mezcla de concreto.
- FIBRA ZPP debe ser añadida con su empaque y como último material en la preparación de la mezcla de concreto para garantizar su buena distribución.
- En camiones concretos (Mixers) agregar las bolsas de FIBRA ZPP a través de la tolva de carga y brindar los tiempos adecuados para su buena distribución de los filamentos de fibras en la mezcla.

RECOMENDACIONES:

- Realizar ensayos previos de laboratorio para definir la cantidad exacta de fibra a utilizar por m³.
- Al adicionar las fibras a la mezcla de concreto, es probable que reduzca ligeramente su trabajabilidad. Corregir esto, con la adición de algún aditivo plastificante de la línea de Z ADITIVOS.
- Se recomienda dar 1 minuto por cada m³ de mezcla de concreto preparado con FIBRA ZPP para garantizar la correcta distribución de las fibras en la mezcla.
- Realizar el almacenamiento de FIBRA ZPP en un espacio seco y bajo techo para evitar la exposición de las bolsas hidrosolubles a humedad que puedan dañar el contenido (filamentos de fibras).

INFORMACIÓN TÉCNICA:

Material	100% Polipropileno
Diámetro	25 +/- 5 µm
Resistencia a la tensión	≥ 460 MPa
Elongación	≥ 15%
Humedad	5% Max
Densidad	0.91 - 0.93 g/cm ³
Longitud	12 mm
Módulo de elasticidad	≥ 4600 MPa
Resistencia a ácidos	≥ 98%
Punto de fusión	160 - 170° C

DOSIFICACIÓN:

El uso de FIBRAS ZPP en concreto oscila entre 0.4 a 2.0 kg Kg/m³. La cantidad exacta dependerá de las especificaciones técnicas de obra y/o desempeño de las estructuras que se requiere reforzar.

PRESENTACIÓN:

Bolsas hidrosolubles de 0.6 Kg.

SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE:

- El producto no es considerado peligroso y no genera irritación en la piel, considerar el correcto uso para evitar lesiones oculares o daños de laceración en la piel.
- Almacenar en un lugar seco y fresco, proteger del agua y de la humedad del aire.
- Se recomienda usar los EPP's adecuados para la manipulación del producto.

Anexo 8. Panel fotográfico

Figura 31

Acopio de material de la cantera Hermanos Alaya



Figura 32

Ensayo de análisis granulométrico



Ensayo de peso unitario del agregado fino



Figura 35

Ensayo de peso específico del agregado fino



Figura 36

Ensayo de peso específico del agregado grueso



Figura 37

Ensayo de contenido de humedad de los agregados



Figura 38

Ensayo de abrasión en la maquina Los Ángeles



Figura 39

Ensayo de material más fino que pasa la malla N° 200



Figura 40

Ensayo de asentamiento o slump



Figura 41

Ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco



Figura 42

Dosificación de SikaFiber® 1225 PPM



Figura 43

Dosificación de FIBRA ZPP



Figura 44

Elaboración de probetas cilíndricas de concreto



Figura 45

Ensayo de resistencia a compresión en muestras cilíndricas de concreto



Figura 46

Ensayo de resistencia a flexión en muestras prismáticas de concreto

