

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“INFLUENCIA DE LA FIBRA DE VIDRIO EN EL MÓDULO DE ROTURA
DEL CONCRETO HIDRÁULICO DE $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ PARA EL DISEÑO
DE PAVIMENTO RÍGIDO, EN EL AÑO 2023”**

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

AUTOR: Bach. Ana Paula Bueno Padilla

ASESOR: M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: Ana Paula Bueno Padilla
DNI: 71447882
Escuela Profesional: Ingeniería Civil
2. Asesor: M.T Alejandro Cubas Becerra
Facultad: 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:
"INFLUENCIA DE LA FIBRA DE VIDRIO EN EL MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO HIDRÁULICO DE $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO, EN EL AÑO 2023"
6. Fecha de evaluación: 4 jul 2025
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 16%
9. Código Documento: oid:::3117:471750116
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 07 de julio 2025



FIRMA DEL ASESOR

Alejandro Cubas Becerra

DNI: 26623287



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 07/07/2025 18:01:18-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

TITULO : *INFLUENCIA DE LA FIBRA DE VIDRIO EN EL MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO HIDRÁULICO DE $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO, EN EL AÑO 2023"*

ASESOR : *M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.*

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0443-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 01 de agosto de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **siete días del mes de agosto de 2025**, siendo las nueve horas con treinta minutos (09:30 a.m.) en la Sala de Audiovisuales (Edificio 1A – Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Vocal : Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Secretario : Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada *INFLUENCIA DE LA FIBRA DE VIDRIO EN EL MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO HIDRÁULICO DE $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO, EN EL AÑO 2023*, presentado por la Bachiller en Ingeniería Civil *ANA PAULA BUENO PADILLA*; asesorada por el M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra, para la obtención del Título Profesional

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

EVALUACIÓN PRIVADA : 06 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 12 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 18 PTS DIECIOCHO (En letras)

En consecuencia, se la declara APROBADA con el calificativo de DIECIOCHO acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las 10:30 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.
Presidenta

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Vocal

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Secretario

M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.
Asesor



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



EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Civil: ANA PAULA BUENO PADILLA.

RUBRO	PUNTAJE
	Máximo/Calificación
2. DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	
2.1. Capacidad de síntesis	3
2.2. Dominio del tema	3
2.3. Consistencia de las alternativas presentadas	3
2.4. Precisión y seguridad en las respuestas	3
PUNTAJE TOTAL (MÁXIMO 12 PUNTOS)	12

Cajamarca, 07 de agosto de 2025


Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Presidenta


Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Vocal


Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Secretario


M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.
Asesor



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



EVALUACIÓN FINAL DE LA SUSTENTACIÓN DE TESIS.

Bachiller en Ingeniería Civil: ANA PAULA BUENO PADILLA.

RUBRO	PUNTAJE
A.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PRIVADA	06
B.- EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN PÚBLICA	12
EVALUACIÓN FINAL	
EN NÚMEROS (A + B)	18
EN LETRAS (A + B)	Dieciocho
- Excelente 20 - 19	Muy Bueno
- Muy Bueno 18 - 17	
- Bueno 16 - 14	
- Regular 13 a 11	
- Desaprobado 10 a menos	

Cajamarca, 07 de agosto de 2025

Dra. Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón.
Presidenta

Dr. Ing. Mauro Augusto Centurión Vargas.
Vocal

Dr. Ing. Miguel Angel Mosqueira Moreno.
Secretario

M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra.
Asesor

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por su constante protección y guía. Su amor y fortaleza han sido mi inspiración para superar los desafíos y alcanzar este importante logro en mi vida profesional.

En segundo lugar, agradezco profundamente a mis padres, Herman y Aideé, así como a mis hermanos, Rafael y Wilmer. Su apoyo incondicional y su fe en mí han sido fundamentales en este camino. Les estoy infinitamente agradecida por su comprensión y confianza.

Quiero hacer un agradecimiento especial a mi asesor de tesis, el M. en T. Ing. Alejandro Cubas Becerra. Su orientación y su vasto conocimiento han sido primordiales para el desarrollo de esta investigación.

A mis queridas amigas, Yohana, Silvia y Leidy, les agradezco por compartir conmigo momentos inolvidables durante nuestra etapa universitaria. Su apoyo y ánimo constante han sido un verdadero motor en este proceso. También agradezco a Vivi y Vanessa, quienes han sido amigas incondicionales a lo largo de los años. Su amistad y cariño son un tesoro invaluable en mi vida.

DEDICATORIA

A mis padres, Herman y Aideé, les agradezco profundamente por proporcionarme los recursos necesarios para alcanzar mis metas y por su constante aliento para superar cualquier adversidad. Su amor incondicional y apoyo constante han sido esenciales en el logro de este propósito. Son mi mayor inspiración para esforzarme cada día y aspirar a ser la mejor versión de mí misma.

A Chiquis, mi querida compañera peluda y confidente, quien me acompañó fielmente en mi regazo durante la realización de este trabajo de investigación. Aunque ya no estés físicamente conmigo siempre vivirás en mi corazón. Este logro es un homenaje a los preciosos recuerdos que compartimos juntas.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Hipótesis de la investigación	18
1.4. Variables	18
1.4.1. Variable independiente.....	18
1.4.2. Variable dependiente.....	18
1.5. Justificación de la investigación	18
1.6. Alcances o delimitación de la investigación.....	19
1.7. Limitaciones.....	19
1.8. Objetivos	19
1.8.1. Objetivo general.....	19
1.8.2. Objetivos específicos	19
1.9. Descripción del contenido de capítulos de la investigación	20
1.9.1. Capítulo I. Introducción	20
1.9.2. Capítulo II. Marco teórico	20
1.9.3. Capítulo III. Materiales y métodos.....	20
1.9.4. Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados.....	20
1.9.5. Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones.....	20
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Antecedentes Teóricos de la investigación.....	21
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	21
2.1.2. Antecedentes nacionales	21
2.1.3. Antecedentes locales.....	22
2.2. Bases Teóricas	23

2.2.1. Concreto.....	23
2.2.2. Propiedades del concreto fresco	23
2.2.3. Propiedades del concreto endurecido	24
2.2.3.1. Resistencia a la compresión.....	24
2.2.3.2. Resistencia a la flexión	24
2.2.4. Concreto reforzado con fibras de vidrio	26
2.2.5. Cemento	27
2.2.5.1. Tipos de cemento	27
2.2.6. Agregados	27
2.2.6.1. Agregado fino	27
2.2.6.2. Agregado grueso	28
2.2.7. Fibra de vidrio.....	29
2.2.8. Agua.....	30
2.2.9. Pavimentos.....	30
2.2.10. Pavimento Rígido	30
2.3. Definición de términos básicos.....	31
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1. Ubicación geográfica	32
3.1.1. Ubicación geográfica de la investigación	32
3.1.2. Ubicación geográfica de la cantera de estudio.....	32
3.2. Tipo, Nivel y Método de la investigación.....	34
3.2.1. Tipo.....	34
3.2.2. Nivel.....	34
3.2.3. Método de investigación.....	35
3.3. Población de estudio	35
3.4. Muestra	35
3.5. Unidad de análisis	36
3.6. Equipos y Materiales de la investigación.....	37
3.7. Procedimiento	38
3.7.1. Propiedades de los agregados	38
3.7.1.1. Extracción y preparación de muestras tomadas de cantera Hnos. Alaya (NTP 400.010/ASTM D 3665)	38
3.7.1.2. Reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo - Método del cuarteo (NTP 400.043/ASTM C 702).....	38

3.7.1.3. Análisis Granulométrico de Agregados (NTP 400.012/ASTM C 136).....	39
3.7.1.4. Material más fino que pasa el tamiz normalizado 75 µm (N°200) (NTP 400.018/ASTM C -117).....	40
3.7.1.5. Módulo de finura (NTP 400.011/ASTM C 33)	41
3.7.1.6. Peso Unitario (NTP 400.017 / ASTM C -29)	41
3.7.1.7. Peso específico y absorción (NTP 400.021-400.022 / ASTM C 127-C 128).....	42
3.7.1.8. Contenido de vacíos en los agregados (NTP 400.017/ASTM C 29).....	45
3.7.1.9. Contenido de humedad (%) (NTP 339.185 / ASTM C 70)	45
3.7.1.10. Resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½”) por medio de la máquina de los ángeles (NTP 400.019 / ASTM C 131).....	45
3.8. Características físicas de la fibra de vidrio	47
3.8.1. Largo y diámetro de la fibra de vidrio	47
3.8.2. Peso específico de la fibra de vidrio	47
3.9. Características del cemento	47
3.10. Características del agua	48
3.11. Diseño de mezcla.....	48
3.11.1. Procedimiento del diseño de mezcla.....	48
3.11.2. Procedimiento para la elaboración de mezcla de prueba.....	50
3.11.3. Procedimiento para la elaboración del ajuste de mezcla	50
3.11.4. Procedimiento para la adición de fibra de vidrio en las proporciones de diseño	52
3.12. Elaboración de las probetas de concreto (Cilíndricas y prismáticas)	52
3.13. Ensayos del concreto	53
3.13.1. Ensayos del concreto fresco.....	53
3.13.1.1. Asentamiento o Slump.....	53
3.13.1.2. Peso Unitario del concreto fresco	53
3.13.2. Ensayos del concreto endurecido.....	54
3.13.2.1. Peso unitario del concreto endurecido	54
3.13.2.2. Resistencia a la compresión.....	54
3.13.2.3. Resistencia a la flexión	55
3.14. Presentación de resultados	56
3.14.1. Resultados de las propiedades físicas de los agregados y fibra de vidrio.....	56
3.14.2. Resultados de diseños de mezcla	57

3.14.3. Resultados de las propiedades físico-mecánicas del concreto.....	58
3.14.3.1. Resultados del peso unitario del concreto fresco.....	58
3.14.3.2. Resultados del peso unitario del concreto endurecido.....	59
3.14.4. Resultados de la resistencia a compresión en los especímenes cilíndricos	59
3.14.5. Resultados de la resistencia a flexión en los especímenes prismáticos	61
3.14.6. Análisis estadístico de los resultados de la resistencia a compresión y flexión	62
3.14.6.1. Análisis estadístico de los ensayos de resistencia a la compresión	62
3.14.6.2. Análisis estadístico de los ensayos de resistencia a la flexión.....	64
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	66
4.1. Análisis de las propiedades físicas de los agregados y fibra de vidrio	66
4.2. Análisis del diseño de mezcla de concreto	67
4.3. Análisis de la trabajabilidad.....	67
4.4. Análisis del peso unitario del concreto fresco	68
4.5. Análisis del peso unitario del concreto endurecido	68
4.6. Análisis de la resistencia a compresión	68
4.7. Análisis de la resistencia a flexión.....	69
4.8. Análisis de las pruebas estadísticas de resultados de los ensayos a compresión y flexión	69
4.9. Contrastación de hipótesis	71
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
5.1. Conclusiones	72
5.2. Recomendaciones	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
ANEXOS.....	78
ANEXOS I: FICHA TECNICA DE CEMENTO PORTLAND TIPO I	78
ANEXOS II: Panel Fotográfico fibra de vidrio tipo E- “POWDER CHOPPED STAND MATS E-GLASS”	79
ANEXOS III: DIMENSIONES PROMEDIO DE FIBRA DE VIDRIO TIPO E	80
ANEXOS IV: ANALISIS FISICOQUÍMICO DE FIBRA DE VIDRIO TIPO E.....	81
ANEXOS V: TABLAS DE ENSAYOS PARA LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS DE LA CANTERA HNOS. ALAYA	82
ANEXOS VI: TABLAS ACI PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO F’C=280 KG/CM ²	101
ANEXOS VII: DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO	104

ANEXOS VIII: ENSAYOS DE ESPECIMENES.....	118
1. Peso Unitario del Concreto.....	118
2. Ensayos a Compresión	119
3. Ensayos a Flexión.....	125
4. Esfuerzo-deformación	131
ANEXOS IX: CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES “MG. ING. CARLOS ESPARZA DIAZ” DE LA UNC.....	139
ANEXOS X: PANEL FOTOGRÁFICO	140

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Límites de granulometría para agregado fino.....	28
Tabla 2: Límites de granulometría para agregado grueso.	29
Tabla 3: Coordenadas geográficas y UTM de laboratorio de ensayos y materiales de la facultad de ingeniería.....	32
Tabla 4: Coordenadas geográficas y UTM de la cantera de estudio.	32
Tabla 5: Cantidad de probetas cilíndricas de concreto para cada porcentaje de fibra de vidrio.....	36
Tabla 6: Cantidad de probetas prismáticas de concreto para cada porcentaje de fibra de vidrio.....	36
Tabla 7: Tamaño de la muestra de agregado.	46
Tabla 8: Propiedades físicas de los agregados fino y grueso.....	56
Tabla 9: Características físicas de la fibra de vidrio Tipo E.....	57
Tabla 10: Comparativa de pesos de los materiales corregidos por humedad por m^3 para cada diseño de mezcla.	57
Tabla 11: Comparativa de proporción en peso para cada diseño de mezcla.	57
Tabla 12: Asentamiento de concreto fresco (Slump) para cada porcentaje de adición de fibra de vidrio.	58
Tabla 13: Peso Unitario Promedio de concreto fresco para cada porcentaje de adición de fibra de vidrio.	58
Tabla 14: Peso Unitario Promedio de concreto endurecido para cada porcentaje de adición de fibra de vidrio.	59
Tabla 15: Resultados de la resistencia a compresión para cada porcentaje de adición de fibra de vidrio.	59
Tabla 16: Resultados de la resistencia a flexión para cada porcentaje de adición de fibra de vidrio.....	61
Tabla 17: Resumen estadístico de la resistencia a compresión del concreto según porcentaje de fibra de vidrio y edad.	62
Tabla 18: Análisis de la varianza (ANOVA) para resistencia a la compresión.....	63
Tabla 19: Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III) para resistencia a la compresión.	63
Tabla 20: Prueba de Tukey – Comparación por porcentaje de fibra de vidrio para resistencia a la compresión.....	63
Tabla 21: Resumen estadístico de la resistencia a flexión del concreto según porcentaje de fibra de vidrio y edad.....	64
Tabla 22: Análisis de la varianza (ANOVA) para resistencia a la flexión.....	64

Tabla 23: Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III) para resistencia a la flexión.	64
Tabla 24: Prueba de Tukey – Comparación por porcentaje de fibra de vidrio para resistencia a la flexión.	65
Tabla 25: Largo y Diámetro de filamento de muestras de fibra de vidrio Tipo E.....	80
Tabla 26: Peso específico del agua.	82
Tabla 27: Factor “f” del molde para el agregado grueso.	82
Tabla 28: Factor “f” del molde para el agregado fino.	82
Tabla 29: Peso Unitario Suelto del agregado grueso.....	83
Tabla 30: Peso Unitario Compactado del agregado grueso.....	83
Tabla 31: Peso Unitario Suelto del agregado fino.	84
Tabla 32: Peso Unitario Compactado del agregado fino.	84
Tabla 33: Peso específico del agregado grueso.	85
Tabla 34: Absorción del agregado grueso.	85
Tabla 35: Peso específico del agregado fino.	86
Tabla 36: Absorción del agregado fino.	86
Tabla 37: Contenido de humedad del agregado grueso.....	87
Tabla 38: Contenido de humedad del agregado fino.	87
Tabla 39: Análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N°01.	88
Tabla 40: Análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N°02.	90
Tabla 41: Análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N°03.	92
Tabla 42: Análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N°01.	94
Tabla 43: Análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N°02.	96
Tabla 44: Análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N°03.	98
Tabla 45: Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 0.075 mm (N°200) para el agregado grueso.....	100
Tabla 46: Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 0.075 mm (N°200) para el agregado fino.	100
Tabla 47: Ensayo de Abrasión de agregado grueso.....	100
Tabla 48: Volumen unitario de agua.	101
Tabla 49: Contenido de aire.....	101
Tabla 50: Resistencia promedio requerida a la compresión cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar.	102
Tabla 51: Consistencia, asentamiento y trabajabilidad de concreto.	102
Tabla 52: Relación agua-cemento (a/c) por resistencia.	102

Tabla 53: Módulo de finura de la combinación de agregados “mc”.	103
Tabla 54: Diseño de mezcla de concreto patrón	104
Tabla 55: Ajuste de diseño de mezcla de concreto patrón	107
Tabla 56: Diseño de mezcla de concreto con adición de 0.25% de fibra de vidrio tipo E.	109
Tabla 57: Diseño de mezcla de concreto con adición de 0.50% de fibra de vidrio tipo E.	112
Tabla 58: Diseño de mezcla de concreto con adición de 0.75% de fibra de vidrio tipo E.	115
Tabla 59: Peso Unitario del Concreto Fresco.	118
Tabla 60: Peso Unitario del Concreto Endurecido.	118
Tabla 61: Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos patrón a los 07 días.	119
Tabla 62: Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.25% de fibra de vidrio tipo E a los 07 días.	119
Tabla 63: Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.50% de fibra de vidrio tipo E a los 07 días.	120
Tabla 64: Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.75% de fibra de vidrio tipo E a los 07 días.	120
Tabla 65: Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos patrón a los 14 días.	121
Tabla 66: Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.25% de fibra de vidrio tipo E a los 14 días.	121
Tabla 67: Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.50% de fibra de vidrio tipo E a los 14 días.	122
Tabla 68: Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.75% de fibra de vidrio tipo E a los 14 días.	122
Tabla 69: Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos patrón a los 28 días.	123
Tabla 70: Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.25% de fibra de vidrio tipo E a los 28 días.	123
Tabla 71: Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.50% de fibra de vidrio tipo E a los 28 días.	124
Tabla 72: Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.75% de fibra de vidrio tipo E a los 28 días.	124
Tabla 73: Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos patrón a los 07 días.	125
Tabla 74: Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.25% de fibra de vidrio tipo E a los 07 días.	125
Tabla 75: Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.50% de fibra de vidrio tipo E a los 07 días.	126

Tabla 76: Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.75% de fibra de vidrio tipo E a los 07 días.....	126
Tabla 77: Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos patrón a los 14 días.	127
Tabla 78: Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.25% de fibra de vidrio tipo E a los 14 días.....	127
Tabla 79: Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.50% de fibra de vidrio tipo E a los 14 días.....	128
Tabla 80: Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.75% de fibra de vidrio tipo E a los 14 días.....	128
Tabla 81: Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos patrón a los 28 días.	129
Tabla 82: Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.25% de fibra de vidrio tipo E a los 28 días.....	129
Tabla 83: Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.50% de fibra de vidrio tipo E a los 28 días.....	130
Tabla 84: Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.75% de fibra de vidrio tipo E a los 28 días.....	130
Tabla 85: Datos de esfuerzo y deformación unitaria obtenidos del ensayo a flexión del espécimen N°01 (0% FV – 28 días)	131
Tabla 86: Datos de esfuerzo y deformación unitaria obtenidos del ensayo a flexión del espécimen N°01 (0.25% FV – 28 días)	133
Tabla 87: Datos de esfuerzo y deformación unitaria obtenidos del ensayo a flexión del espécimen N°01 (0.50% FV – 28 días)	135
Tabla 88: Datos de esfuerzo y deformación unitaria obtenidos del ensayo a flexión del espécimen N°01 (0.75% FV – 28 días)	137

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1: Diagrama del aparato para ensayos a flexión.....	25
Figura 2: Ubicación de la cantera Hnos. Alaya.....	34
Figura 3: Resistencia a la compresión promedio para cada porcentaje de adición de fibra de vidrio obtenidos a los 7, 14 y 28 días.	60
Figura 4: Resistencia a la compresión promedio a los 28 días vs % de fibra de vidrio. 60	
Figura 5: Resistencia a la flexión promedio para cada porcentaje de adición de fibra de vidrio obtenidos a los 7, 14 y 28 días.	61
Figura 6: Resistencia a la flexión promedio a los 28 días vs % de fibra de vidrio.....	62
Figura 7: Comparación de Medias de la Resistencia a la compresión promedio a los 28 días según % de fibra de vidrio ($\pm E.E$)......	63
Figura 8: Comparación de Medias de la Resistencia a la flexión promedio a los 28 días según % de fibra de vidrio ($\pm E.E$).	65
Figura 9: Curva de distribución granulométrica del agregado grueso – Ensayo N°01. .	89
Figura 10: Curva de distribución granulométrica del agregado grueso – Ensayo N°02. 91	
Figura 11: Curva de distribución granulométrica del agregado grueso – Ensayo N°03. 93	
Figura 12: Curva de distribución granulométrica del agregado fino – Ensayo N°01.....	95
Figura 13: Curva de distribución granulométrica del agregado fino – Ensayo N°02.....	97
Figura 14: Curva de distribución granulométrica del agregado fino – Ensayo N°03.....	99
Figura 15: Curva esfuerzo-deformación obtenida del ensayo a flexión del espécimen N°01 (0% FV – 28 días).....	132
Figura 16: Curva esfuerzo-deformación obtenida del ensayo a flexión del espécimen N°01 (0.25% FV – 28 días).....	134
Figura 17: Curva esfuerzo-deformación obtenida del ensayo a flexión del espécimen N°01 (0.50% FV – 28 días).....	136
Figura 18: Curva esfuerzo-deformación obtenida del ensayo a flexión del espécimen N°01 (0.75% FV – 28 días).....	138
Figura 19: Ensayo de Peso Específico de agregado fino.....	140
Figura 20: Ensayo de Análisis Granulométrico de agregado fino.....	140
Figura 21: Ensayo de Peso unitario suelto de agregado grueso.....	141
Figura 22: Ensayo de Peso unitario compactado de agregado fino.	141
Figura 23: Desmenuzado de la fibra de vidrio Tipo E.....	142
Figura 24: Colocación de fibra de vidrio en mezcla de concreto para elaboración de especímenes cilíndricos.	142

Figura 25: Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos patrón a los 14 días.....	143
Figura 26: Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos con una adición de 0.25% de fibra de vidrio a los 14 días.....	143
Figura 27: Medición de slump en mezcla de concreto para especímenes con adición de 0.25% de fibra de vidrio.	144
Figura 28: Medición de slump en mezcla de concreto para especímenes con adición de 0.75% de fibra de vidrio.	144
Figura 29: Medición de longitud de especímenes prismáticos.	145
Figura 30: Ensayo de resistencia a la flexión de especímenes prismáticos con una adición de 0.75 % de fibra de vidrio a los 14 días.	145
Figura 31: Distribución de agregado en espécimen prismático patrón.....	146
Figura 32: Distribución de agregado y fibra de vidrio en espécimen prismático con adición de 0.25% de fibra de vidrio.	146
Figura 33: Distribución de agregado y fibra de vidrio en espécimen prismático con adición de 0.50% de fibra de vidrio.	147
Figura 34: Distribución de agregado y fibra de vidrio en espécimen prismático con adición de 0.75% de fibra de vidrio.	147

RESUMEN

El concreto hidráulico presenta alta resistencia a la compresión, pero baja resistencia frente a esfuerzos de tracción o flexión, lo que limita su desempeño en estructuras como los pavimentos rígidos. En este contexto, y considerando diversos estudios que evidencian que la incorporación de fibras puede mejorar significativamente las propiedades mecánicas del concreto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de la fibra de vidrio en el módulo de rotura del concreto hidráulico con una resistencia de diseño de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, valor mínimo recomendado por el Manual de Carreteras del MTC para pavimentos sometidos a tránsito ligero. Se ensayaron probetas con 0%, 0.25%, 0.50% y 0.75% de fibra, analizándose su comportamiento a los 7, 14 y 28 días de edad de curado. A los 28 días, los resultados indicaron que los porcentajes de 0.25% y 0.50% de fibra de vidrio generaron incrementos en el módulo de rotura de 6.16% (47.58 kg/cm^2) y 5.20% (47.15 kg/cm^2), respectivamente, respecto a la mezcla patrón (44.82 kg/cm^2). No obstante, con 0.75% de fibra, la resistencia a la flexión se redujo a 41.56 kg/cm^2 (-7.27%). En cuanto a la resistencia a la compresión, se observó una disminución progresiva conforme aumentaba el contenido de fibra, la mezcla patrón registró 368.17 kg/cm^2 , mientras que las mezclas con 0.25%, 0.50% y 0.75% alcanzaron 326.71 kg/cm^2 (-11.26%), 244.75 kg/cm^2 (-33.52%) y 191.29 kg/cm^2 (-48.04%), respectivamente. La investigación valida parcialmente la hipótesis planteada, ya que solo las dos primeras proporciones de fibra (0.25% y 0.50%) lograron superar el umbral del 5% de mejora en el módulo de rotura.

Palabras clave: Módulo de rotura, concreto, resistencia a compresión, resistencia a flexión, fibra de vidrio, pavimentos rígidos.

ABSTRACT

Hydraulic concrete exhibits high compressive strength but low resistance to tensile or flexural stresses, which limits its performance in structures such as rigid pavements. In this context, and considering various studies that demonstrate the significant improvement of mechanical properties through the incorporation of fibers, the present research aimed to evaluate the influence of glass fiber on the modulus of rupture of hydraulic concrete with a design strength of $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, the minimum value recommended by the MTC Road Manual for pavements subjected to light traffic. Specimens with 0%, 0.25%, 0.50%, and 0.75% fiber content were tested, and their behavior was analyzed at 7, 14, and 28 days of curing age. At 28 days, the results indicated that fiber contents of 0.25% and 0.50% led to increases in the modulus of rupture of 6.16% (47.58 kg/cm^2) and 5.20% (47.15 kg/cm^2), respectively, compared to the control mix (44.82 kg/cm^2). However, with 0.75% fiber, the flexural strength decreased to 41.56 kg/cm^2 (-7.27%). Regarding compressive strength, a progressive decrease was observed as the fiber content increased, the control mix recorded 368.17 kg/cm^2 , while the mixes with 0.25%, 0.50%, and 0.75% reached 326.71 kg/cm^2 (-11.26%), 244.75 kg/cm^2 (-33.52%), and 191.29 kg/cm^2 (-48.04%), respectively. The study partially validates the initial hypothesis, as only the first two fiber proportions (0.25% and 0.50%) achieved an improvement of more than 5% in the modulus of rupture.

Keywords: Modulus of rupture, concrete, compressive strength, flexural strength, fiberglass, rigid pavements.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El concreto hidráulico se caracteriza por presentar una alta resistencia a la compresión, pero baja resistencia frente a esfuerzos de tracción o flexión, lo que limita su comportamiento en elementos estructurales que requieren buena capacidad para resistir cargas a flexión, como los pavimentos rígidos (Neville, 2013). En este tipo de estructuras, la resistencia a la flexión, también conocida como módulo de rotura, se convierte en un parámetro clave para el diseño, ya que la losa de concreto debe absorber las cargas repetitivas generadas por el tránsito vehicular (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2014).

En el diseño de pavimentos para tránsito ligero, el Manual de Carreteras del MTC recomienda una resistencia mínima de diseño de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y un valor mínimo de módulo de rotura de 40 kg/cm^2 (MTC, 2014). Estos requerimientos implican el desafío de mejorar el comportamiento estructural del concreto sin incrementar el espesor de la losa, ya que esto podría generar un aumento significativo en los costos de construcción. Por esta razón, se plantea la necesidad de evaluar soluciones técnicas que incrementen la resistencia a la flexión del concreto, entre las cuales destaca el uso de fibras de refuerzo.

Diversos estudios han demostrado que la incorporación de fibras puede mejorar sustancialmente las propiedades mecánicas del concreto (American Concrete Institute, 2019). En particular, la fibra de vidrio representa una alternativa viable por su alta resistencia a tracción y bajo peso específico. No obstante, no existe una dosificación única estandarizada para su uso en concreto, por lo que se recomienda un rango entre 0.1% y 1.0% del volumen del concreto, dependiendo del tipo de fibra y los objetivos del diseño (American Concrete Institute, 2019).

Además, si bien se ha demostrado que el uso de fibras puede mejorar el desempeño estructural del concreto, existen escasas investigaciones aplicadas a contextos locales como el de Cajamarca, donde las condiciones de disponibilidad y acceso a fibras de vidrio predimensionadas y específicamente diseñadas como refuerzo estructural son limitadas. En este marco, se vuelve necesario evaluar la medida en la que la fibra de

vidrio tiene una influencia sobre el módulo de rotura al aplicarse en porcentajes específicos, a fin de determinar su viabilidad como alternativa técnica para mejorar la resistencia a la flexión sin recurrir al aumento del espesor de losas e incluso con miras a su posible reducción, promoviendo así soluciones más eficientes y sostenibles en el diseño vial.

1.2. Formulación del problema

Problema general

¿En qué porcentaje influye la fibra de vidrio en el módulo de rotura del concreto hidráulico con una resistencia de diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$?

1.3. Hipótesis de la investigación

La fibra de vidrio produce un incremento superior al 5% en el módulo de rotura del concreto hidráulico con una resistencia de diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, en comparación con el concreto patrón.

1.4. Variables

1.4.1. Variable independiente

➤ Porcentaje de fibra de vidrio.

1.4.2. Variable dependiente

➤ Módulo de rotura.

1.5. Justificación de la investigación

La resistencia del concreto hidráulico es significativamente mayor a la compresión que a la flexión. No obstante, la resistencia a la flexión (módulo de rotura) constituye un parámetro clave en el diseño de pavimentos rígidos, según lo establecido en el Manual de Carreteras del MTC. Frente a esta limitación inherente del material, la incorporación de fibras de refuerzo, como la fibra de vidrio, se presenta como una técnica innovadora para mejorar la resistencia a la flexión.

En este contexto, esta propuesta representa una alternativa técnica que podría optimizar el desempeño estructural del concreto no solo evitando el incremento del

espesor de la losa, sino incluso permitiendo su eventual reducción, lo cual favorecería el desarrollo de soluciones más eficientes y sostenibles.

1.6. Alcances o delimitación de la investigación

- Se utilizó fibra de vidrio tipo E, con una longitud de 48.07 mm y un diámetro de 0.12 mm, obtenida a partir del desmenuzado manual de mantas. Fue adicionada en proporciones de 0%, 0.25%, 0.50% y 0.75% con respecto al volumen total de la mezcla.
- La mezcla fue diseñada para una resistencia a la compresión de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ realizándose ensayos a edades de 7, 14 y 28 días de curado.
- Los agregados utilizados fueron provenientes de la cantera Hnos. Alaya.
- Se utilizó Cemento Portland Tipo I de la marca Pacasmayo.

1.7. Limitaciones

- No se consideraron otras propiedades como durabilidad, retracción o permeabilidad.
- Los resultados obtenidos en esta investigación son válidos únicamente para las condiciones específicas del estudio, es decir, para agregados provenientes de la cantera Hnos. Alaya, Cemento Portland Tipo I y fibra de vidrio tipo E.

1.8. Objetivos

1.8.1. Objetivo general

- Determinar la influencia de la fibra de vidrio en el módulo de rotura del concreto hidráulico en el concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ para el diseño de pavimento rígido, en el año 2023.

1.8.2. Objetivos específicos

- Determinar la resistencia a la flexión del concreto hidráulico con una resistencia de diseño de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ a los 7, 14 y 28 días, utilizando proporciones de fibra de vidrio de 0.25%, 0.50% y 0.75%, además de una mezcla patrón (0%).
- Determinar la resistencia a la compresión del concreto hidráulico con una resistencia de diseño de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ a los 7, 14 y 28 días, utilizando

proporciones de fibra de vidrio de 0.25%, 0.50% y 0.75%, además de una mezcla patrón (0%).

1.9. Descripción del contenido de capítulos de la investigación

1.9.1. Capítulo I. Introducción

Contempla el planteamiento y formulación del problema, hipótesis y justificación de la investigación, así como los alcances y limitaciones del estudio, junto con los objetivos establecidos.

1.9.2. Capítulo II. Marco teórico

Cita los antecedentes a nivel internacional, nacional y local relevantes para la investigación, además de proporcionar las bases teóricas y la definición de los términos básicos.

1.9.3. Capítulo III. Materiales y métodos

Describe el procedimiento y resultados de los ensayos para determinar el módulo de rotura del concreto con resistencia de diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ al incorporar fibra de vidrio.

1.9.4. Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

Contiene el análisis y comparación de los resultados de la resistencia a la flexión y a la compresión obtenidos tras su experimentación en laboratorio.

1.9.5. Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

Contiene las conclusiones derivadas del análisis de los resultados experimentales, permitiendo la validación o negación a la hipótesis planteada.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Subandi et al. (2019), en su artículo titulado “Effect of Additional Fiberglass Fiber on Concrete Performance”, evaluaron el comportamiento del concreto reforzado con fibra de vidrio tipo Chopped Strand Mat, utilizando porcentajes de 0 %, 0.25 %, 0.5 % y 0.75 % respecto al peso del cemento. Los resultados mostraron que el contenido óptimo para la resistencia a compresión fue 0.25 %, con un valor de 24.6 MPa. Por otro lado, el mayor desempeño en resistencia a la flexión (2.889 MPa) se alcanzó con el 0.75 % de fibra.

Amaya y Ramírez (2019), en su tesis presentada en la Universidad Católica de Colombia titulada “Evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras”, determinaron que el concreto con fibras de vidrio presentó un incremento de resistencia a compresión a los 28 días, aunque no significativo (solo un 1 % respecto al concreto convencional). En cuanto a la resistencia a flexión, las fibras proporcionaron mejores resultados en edades tempranas, pero no superaron al concreto patrón a los 28 días.

Muñoz et al. (2024), en su artículo titulado “Glass fiber reinforced concrete: overview of mechanical and microstructural analysis”, evaluaron el comportamiento del concreto reforzado con fibra de vidrio incorporando proporciones volumétricas de 0.5 %, 1 %, 1.5 % y 2 %. Los resultados revelaron mejoras significativas en las propiedades mecánicas del concreto en comparación con el concreto patrón, destacando aumentos de hasta 40.29 % en la resistencia a compresión y 37.28 % en la resistencia a flexión a los 28 días de curado. No obstante, se observó que al superar la dosificación óptima del 1.5 % de fibra de vidrio, las resistencias mecánicas comienzan a disminuir, aunque sin llegar a ser inferiores a las del concreto patrón.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Alvites y Guevara (2019), en su tesis presentada en la Universidad César Vallejo titulada “Diseño de pavimento rígido adicionando fibra de vidrio en la Av. Argentina cuadra 13, Cercado de Lima, 2019”, concluyeron que la adición de fibra de vidrio en proporciones de 0.06 %, 0.20 % y 0.50 % incrementa tanto la resistencia a compresión

como a flexo-tracción en comparación con el concreto convencional ($f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$). Particularmente, con un 0.20 % de fibra, se evidenció un aumento del módulo de rotura de aproximadamente 8 % respecto al concreto convencional.

Tejada y Salvatierra (2019), en su tesis presentada en la Universidad César Vallejo titulada “Efecto de la fibra de vidrio tipo E sobre la resistencia a la compresión, flexión y absorción del concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ”. En él, evidenciaron que la adición de fibra de vidrio tipo E mejora el módulo de rotura a los 7, 14 y 28 días. Los mejores resultados se observaron con un 3 % de fibra, alcanzando una resistencia a la flexión de 45.84 kg/cm^2 a los 28 días. No obstante, porcentajes mayores (5 % y 7 %) mostraron una disminución en cuanto a sus propiedades de resistencia a la flexión, compresión.

Arista y Trujillo (2022), en su tesis presentada en la Universidad Ricardo Palma titulada “Fibra de vidrio para mejorar las propiedades mecánicas del concreto”, concluyeron que la adición de fibra de vidrio incrementa de manera significativa las propiedades mecánicas del concreto, dependiendo del porcentaje utilizado. En su investigación, se obtuvo una resistencia a la compresión de 247 kg/cm^2 con un contenido de 0.25 % de fibra de vidrio; una resistencia a la flexión de 38 kg/cm^2 con una dosificación del 0.75 %.

2.1.3. Antecedentes locales

Huamán (2015) en su tesis presentada en la Universidad Nacional de Cajamarca titulada “Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de vidrio”, concluyó que la resistencia a flexión se incrementa significativamente con el aumento del porcentaje de fibra de vidrio. El mayor valor se obtuvo con 0.50 % de fibra, registrándose un aumento del 25.52 % a los 7 días y del 36.20 % a los 28 días, en comparación con el concreto patrón.

Pajares (2024) en su tesis presentada en la Universidad Nacional de Cajamarca titulada “Influencia de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ usando la cantera de Puruay, provincia de Cajamarca - Cajamarca”, determinó que el uso de fibra de vidrio en proporciones de 0.2 % y 0.4 % mejora en más de 3 % la resistencia a compresión y flexión. Sin embargo, porcentajes mayores (0.6 % y 0.8 %) disminuyeron la resistencia a compresión, aunque mantuvieron un incremento en la resistencia a flexión.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Concreto

El concreto puede definirse, en términos generales, como una mezcla compuesta por una pasta aglutinante (formada por cemento, agua y aire), agregados pétreos y aditivos con diversas funciones, tales como acelerantes, retardadores de fraguado, plastificadores y superplastificadores, mejoradores de adherencia, aditivos minerales, repelentes al agua, incorporadores de aire y reductores de permeabilidad, entre otros. En cuanto a su composición, los agregados representan aproximadamente entre el 65 % y 75 % del volumen total del concreto, mientras que la pasta constituye entre el 25 % y 35 %, distribuida en un 8 %–16 % de cemento, 17 %–19 % de agua y 1 %–2 % de aire (Rondón & Reyes, 2015).

2.2.2. Propiedades del concreto fresco

2.2.2.1. Trabajabilidad

Según Shetty (2020), la trabajabilidad del concreto se define como la “facilidad y uniformidad con la que el concreto puede ser mezclado, transportado, colocado, compactado y acabado, asegurando una mezcla homogénea y evitando problemas como la segregación o exudación”.

Neville (2013) plantea que, si bien tradicionalmente se ha considerado a la trabajabilidad como una propiedad exclusiva del concreto fresco, su influencia se extiende al producto acabado, ya que una mezcla con adecuada trabajabilidad permite alcanzar una compactación eficiente. Esto, a su vez, mejora la durabilidad, resistencia y calidad del producto final. Por lo tanto, el diseño de mezclas debe asegurar un nivel de trabajabilidad que permita alcanzar la máxima densidad con un esfuerzo razonable o con el que sea viable según las condiciones específicas de un proyecto.

2.2.2.2. Consistencia

El término consistencia se refiere comúnmente a la firmeza o fluidez de la mezcla recién elaborada, es decir, a la facilidad con la que esta puede fluir. Esta propiedad está estrechamente relacionada con el contenido de humedad de la mezcla: en términos generales, un concreto con mayor contenido de agua presenta una mayor fluidez y, por ende, suele ser más trabajable que uno más seco, siempre que se mantenga dentro de

ciertos límites. Se evalúa mediante el ensayo de revenimiento (Prueba de slump), ampliamente utilizada para medir la fluidez del concreto fresco (Neville, 2013).

2.2.2.2. Segregación

El término segregación hace referencia a la separación de los componentes del concreto fresco, provocada por las diferencias en el tamaño de las partículas y el peso específico de sus materiales. Esta separación puede dar lugar a una mezcla no uniforme, afectando negativamente sus propiedades mecánicas. No obstante, la segregación puede controlarse mediante una adecuada selección de la granulometría y un correcto manejo durante la mezcla y colocación del concreto. (Neville, 2013).

2.2.3. Propiedades del concreto endurecido

2.2.3.1. Resistencia a la compresión

Comúnmente, la resistencia a la compresión considerada la propiedad más valiosa del concreto, ya que está directamente relacionada con la estructura de la pasta de cemento hidratada, lo que proporciona una visión general de la calidad del concreto. Además, esta propiedad es un elemento vital en el diseño estructural y se especifica con fines de cumplimiento normativo (Neville, 2013).

Las muestras para ensayar la resistencia a la compresión deben ser cilindros cuyo diámetro sea al menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso. La longitud del cilindro debe ser el doble del diámetro, según lo establecido en la norma ASTM C31/C31M-23 (ASTM International [ASTM], 2023).

Es fundamental que las probetas cilíndricas utilizadas para los ensayos cumplan con las dimensiones establecidas en las normas técnicas. De acuerdo con la ASTM C31/C31M-23 (ASTM, 2023), si el tamaño máximo nominal del agregado es igual o superior a 37,5 mm (1½ pulg.), las muestras deben tener dimensiones de 150 mm x 300 mm (6 x 12 pulg.). Si el tamaño del agregado es inferior a 37,5 mm, las probetas pueden tener las dimensiones antes mencionadas o, alternativamente, 100 mm x 200 mm (4 x 8 pulg.), siempre que se garantice la representatividad del material y la confiabilidad de los resultados.

2.2.3.2. Resistencia a la flexión

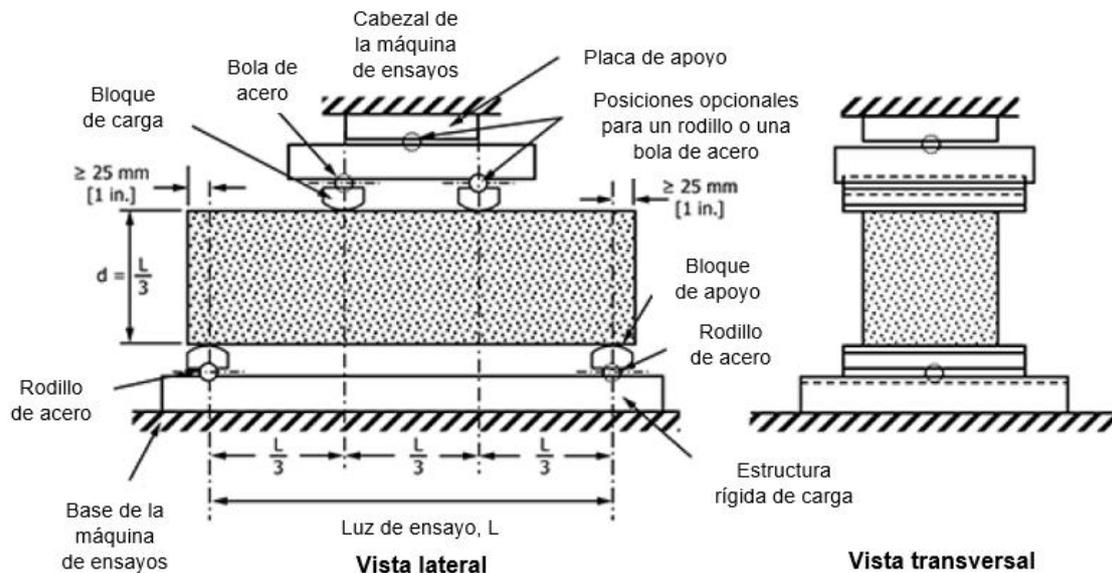
Al someterse una viga de concreto a flexión mediante la prueba de carga en los tercios, se produce un esfuerzo máximo teórico de tensión en la fibra inferior de la viga de prueba, conocido como el módulo de rotura (Neville, 2013).

El método empleado para determinar la resistencia a la flexión del concreto mediante una viga simplemente apoyada con carga en tres puntos está especificado en la norma ASTM C78/C78M-22 (ASTM International [ASTM], 2022).

La longitud de las vigas utilizadas en los ensayos de flexión debe ser, como mínimo, 50 mm (2 pulg.) mayor que tres veces la profundidad que se evalúa. A menos que se especifique lo contrario, la viga estándar debe tener una sección transversal de 150 mm x 150 mm (6 x 6 pulg.), conforme a lo establecido en la ASTM C31/C31M-23 (ASTM,2023).

Figura 1

Diagrama del aparato para ensayos a flexión



Nota. La figura muestra el diagrama del aparato usado para esta prueba. Su diseño de bloques de carga y de soporte debe ser tal que las fuerzas se apliquen, sin excentricidad, a la viga sobre líneas perpendiculares a las caras laterales de la viga. Fuente: Adaptado de ASTM International (2022), ASTM C78/C78M-22.

En cuanto a los cálculos posteriores a los ensayos, la norma ASTM C78/C78M-22 establece diferentes procedimientos para determinar el módulo de rotura del concreto, en función del lugar que se origine la fractura en la viga (ASTM, 2022):

- 1) Si la fractura se inicia en la superficie de tensión dentro del tercio medio de la longitud de amplitud, el módulo de rotura se calcula de la siguiente manera:

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

Donde:

R = módulo de rotura (MPa o psi),

P = carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayos (N o lbf),

L = longitud de amplitud (mm o pulg.),

b = ancho promedio de la probeta (mm o pulg.) en la fractura, y

d = altura promedio de la probeta (mm o pulg.) en la fractura.

- 2) Si la fractura ocurre en la superficie de tensión fuera del tercio medio del largo de la longitud de amplitud, pero no supera el 5% de la longitud de amplitud, el módulo de rotura se calcula de la siguiente manera:

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

Donde:

a = distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de tensión de la viga (mm o pulg.).

- 3) Si la fractura ocurre fuera del tercio medio de la longitud de amplitud y supera el 5% de la longitud de amplitud, los resultados del ensayo deben ser desechados.

2.2.4. Concreto reforzado con fibras de vidrio

El concreto reforzado con fibras es un material de alto rendimiento que se destaca por su capacidad de controlar la formación y propagación de fisuras, así como su elevada tenacidad, lo que permite en prolongar la vida útil de las construcciones (Zerbino, 2020).

En este concreto es recomendable que el tamaño máximo del agregado no supere los 25 mm debido a la fragilidad inherente de las fibras de vidrio, con el fin de evitar su rotura durante el proceso de mezclado, donde los impactos con partículas de gran tamaño pueden dañar las fibras. La dosificación de las fibras suele estar comprendida entre el 3 % y 6 % en peso respecto al total de los materiales secos, mientras que la longitud óptima de las fibras se encuentra en el rango de 30 a 70 mm para garantizar una adecuada dispersión y eficacia estructural dentro de la matriz cementicia (Crespo, 2013).

El uso de fibras en el concreto aporta soluciones frente a diversos problemas que pueden surgir tanto durante la etapa de construcción como a lo largo de la vida útil de las estructuras. Su incorporación permite, entre otros beneficios, reducir espesores, simplificar procesos constructivos y mantener en servicio elementos fisurados que, de otro modo, habrían sido acabado su vida útil (Zerbino, 2020).

2.2.5. Cemento

El cemento es un material con propiedades adhesivas y cohesivas que le permiten aglutinar fragmentos minerales, formando una masa sólida y compacta. Esta definición abarca una amplia gama de materiales cementantes. En el caso del concreto, se emplean cementos que poseen la propiedad de fraguar y endurecer bajo o sumergidos en agua, debido a que reaccionan químicamente con el agua. Por esta razón, se les conoce como cementos hidráulicos (Neville, 2013).

2.2.5.1. Tipos de cemento

Según la Norma Técnica Peruana NTP 334.009 (INACAL, 2020), los cementos hidráulicos se clasifican en los siguientes tipos:

- **Tipo I:** Cemento de uso general, sin propiedades especiales requeridas para otros tipos.
- **Tipo II:** Cemento para uso general que proporciona una resistencia moderada a los sulfatos.
- **Tipo II(MH):** Similar al Tipo II, pero diseñado también para generar un calor de hidratación moderado.
- **Tipo III:** Cemento de alta resistencia inicial
- **Tipo IV:** Cemento de bajo calor de hidratación
- **Tipo V:** Cemento con alta resistencia a los sulfatos

2.2.6. Agregados

Originalmente, los agregados se consideraban materiales inertes cuya función principal era distribuirse dentro de la pasta de cemento, principalmente por razones económicas. No obstante, es posible adoptar una perspectiva diferente y considerarlos como componentes activos de una estructura compuesta, unidos por la pasta de cemento para formar un conjunto cohesivo. Además de ser más económicos que el cemento, lo que incentiva su uso en mayor proporción para reducir costos, los agregados aportan importantes beneficios técnicos. Entre ellos, mejoran la estabilidad volumétrica y aumentan la durabilidad del concreto, ventajas que no se lograrían utilizando únicamente pasta de cemento (Neville, 2013).

2.2.6.1. Agregado fino

Según la Norma Técnica Peruana NTP 400.011 (INACAL, 2020), el agregado fino es aquel material resultante de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz

normalizado 9,5 mm (3/8") y queda retenido en el tamiz de 75 μm (N°200), cumpliendo también con los límites establecidos en la NTP 400.037.

Los límites se indican en la Tabla 1.

Tabla 1

Límites de granulometría para agregado fino.

Tamiz		Porcentaje que pasa
3/8"	9.5 mm	100
N°4	4.75 mm	95 a 100
N°8	2.36 mm	80 a 100
N°16	1.18 mm	50 a 85
N°30	600 μm	25 a 60
N°50	300 μm	5 a 30
N°100	150 μm	0 a 10
N°200	75 μm	0 a 3 ^{A,B}

Nota: Datos tomados de la Norma Técnica Peruana NTP 400.037 (INACAL, 2021).

^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.

2.2.6.2. Agregado grueso

De acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 400.011 (INACAL, 2020), se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz normalizado de 4,75 mm (N°4), el cual debe cumplir con los requisitos establecidos en la NTP 400.037. Este material proviene de la disgregación natural o artificial de rocas.

Los requisitos se indican en la Tabla 2.

Tabla 2*Límites de granulometría para agregado grueso.*

Tamiz		Porcentaje que pasa
1 1/2"	37.5 mm	-
1"	25 mm	100
3/4"	19 mm	90 a 100
1/2"	12.5 mm	-
3/8"	9.5 mm	20 a 55
N°4	4.75 mm	0 a 10
N°8	2.36 mm	0 a 5

Nota: Datos tomados de la NTP 400.037 (INACAL, 2021).**2.2.7. Fibra de vidrio**

La fibra de vidrio es un material de origen mineral elaborado principalmente a partir de arena de sílice, a la cual se le incorporan otros componentes como cal, alúmina, magnesia y ciertos óxidos en proporciones estrictamente controladas, con el objetivo de obtener un producto con propiedades específicas. Estos componentes pasan por una serie de procesos de transformación que dan como resultado la fibra de vidrio (Crespo, 2013).

2.2.7.1. Tipos de fibra de vidrio utilizados en construcción

Según Crespo (2013), existen dos tipos principales de fibra de vidrio empleados en el sector de la construcción:

- **Fibra de vidrio tipo AR:** Se caracteriza por su alto contenido de óxido de circonio, lo que le proporciona una buena resistencia química. Estas fibras presentan una elevada resistencia mecánica y un módulo de elasticidad considerablemente superior al del acero. Son ampliamente utilizadas en hormigones reforzados, plásticos reforzados como el poliéster, fibrocemento (como sustituto del amianto), revestimientos de fachadas, tirantes, cables para puentes, entre otros.
- **Fibra de vidrio tipo E:** Se distingue por sus buenas propiedades dieléctricas y su muy bajo coeficiente de conductividad térmica, lo que la convierte en un material ideal para aislamiento térmico. Este tipo de fibra se emplea comúnmente en elementos constructivos como muros, tabiques, fachadas, cubiertas, suelos y

techos, ya sea reforzando paneles o como componente principal, tanto en las hojas exteriores como en el núcleo de los mismos.

2.2.8. Agua

La Norma Técnica Peruana NTP 339.088 (INACAL, 2019) establece los requisitos que debe cumplir el agua destinada a ser utilizada como agua de mezcla en la elaboración del concreto.

2.2.9. Pavimentos

Rondón y Reyes (2015) señalan que los pavimentos utilizados en carreteras y vías urbanas constituyen estructuras viales de tipo multicapa, es decir, están formadas por un conjunto de capas relativamente horizontales, dispuestas de forma superpuesta y compuestas por materiales seleccionados. Estas estructuras son diseñadas para cumplir una función estructural, que consiste en soportar las cargas impuestas tanto por el tránsito vehicular como por las condiciones ambientales. Adicionalmente, deben cumplir con un fin funcional, es decir, garantizar un tránsito seguro, cómodo y confortable para los usuarios durante el período de diseño previsto.

2.2.10. Pavimento Rígido

El pavimento rígido se caracteriza por estar constituido, generalmente, por una losa de concreto hidráulico con un espesor que varía entre 18 y 30 cm, apoyada sobre una capa granular no tratada o estabilizada con agentes cementantes hidráulicos. Gracias al alto valor del módulo elástico del concreto, las cargas inducidas por el tráfico son esencialmente absorbidas por la losa en forma de esfuerzos de flexión (Rondón & Reyes, 2015).

Según el Manual de Carreteras: Suelos, Geotecnia y Pavimentos, los pavimentos de concreto reciben el nombre de "rígidos" debido a la rigidez inherente de la losa de concreto que los conforma. Esta rigidez permite que la losa absorba la mayor parte de las cargas repetitivas del tránsito vehicular, reduciendo considerablemente los esfuerzos que alcanzan las capas inferiores y la subrasante. (MTC, 2014).

Resistencias a compresión especificadas para pavimentos rígidos comúnmente se encuentran entre 280 y 350 kg/cm^2 , dependiendo de las cargas vehiculares y las condiciones ambientales. Dentro de este rango, una resistencia de 280 kg/cm^2 (equivalente a 4000 psi) es considerada adecuada para muchas aplicaciones en carreteras

y vías municipales, ya que proporciona un equilibrio entre desempeño estructural y durabilidad (American Concrete Institute, 2015).

2.2.11. Losa de concreto

En un pavimento rígido, la losa de concreto cumple principalmente una función estructural, ya que se encarga de transmitir las cargas hacia la subrasante en magnitudes significativamente menores que en los pavimentos flexibles y su distribución es en un área más amplia. Además, proporciona una superficie de rodadura cómoda, segura y limpia, así como, impermeabiliza las capas inferiores (Rondón & Reyes, 2015).

2.3. Definición de términos básicos

- **Concreto hidráulico:** Material compuesto que consiste en un medio aglutinante donde se encuentran embebidas partículas o fragmentos de agregado. Dicho aglutinante está conformado por una mezcla de cemento hidráulico y agua (ASTM C125, 2020).
- **Fibra de vidrio:** Material de refuerzo que se presenta comúnmente como hebras obtenidas del corte en longitudes predeterminadas de filamentos continuos a partir de textiles de vidrio (ASTM D7018/D7018M, 2011).
- **Módulo de rotura:** Tensión calculada en la superficie de tracción de una viga sometida a flexión, determinado bajo el supuesto de un comportamiento elástico lineal, correspondiente al momento de máxima carga aplicada durante un ensayo estándar (ASTM C78/C78M, 2022).
- **Pavimento rígido:** Estructura vial compuesta por una losa de concreto hidráulico como capa de rodadura, apoyada sobre una capa de base o subbase granular, la cual puede ser estabilizada con cemento, cal o asfalto (MTC, 2014).

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica

3.1.1. Ubicación geográfica de la investigación

Los ensayos de la investigación se llevaron a cabo en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería "Carlos Esparza Díaz", perteneciente a la Universidad Nacional de Cajamarca. Este laboratorio se encuentra ubicado en la Av. Atahualpa N°1050, en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca.

Sus coordenadas geográficas son las siguientes:

Tabla 3

Coordenadas geográficas y UTM de laboratorio de ensayos y materiales de la facultad de ingeniería.

COORDENADAS GEOGRAFICAS		COORDENADAS UTM- DATUM WGS 84-ZONA 17S	
LATITUD	LONGITUD	ESTE	NORTE
7°9'2.51.7"S	78°29'43.43.5"W	776621.93	9207009.30

Nota: Elaboración propia. Coordenadas tomadas de Google Earth (2024)

3.1.2. Ubicación geográfica de la cantera de estudio

Los agregados utilizados en este estudio proceden de la cantera Hnos. Alaya. Está ubicada en Jr. Santa Teresa de Journet, en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca.

Tabla 4

Coordenadas geográficas y UTM de la cantera de estudio.

COORDENADAS GEOGRAFICAS		COORDENADAS UTM- DATUM WGS 84-ZONA 17S	
LATITUD	LONGITUD	ESTE	NORTE
7° 8'43.91"S	78°30'17.69"O	775583.64	9209416.37

Nota: Elaboración propia. Coordenadas tomadas de Google Earth (2024)

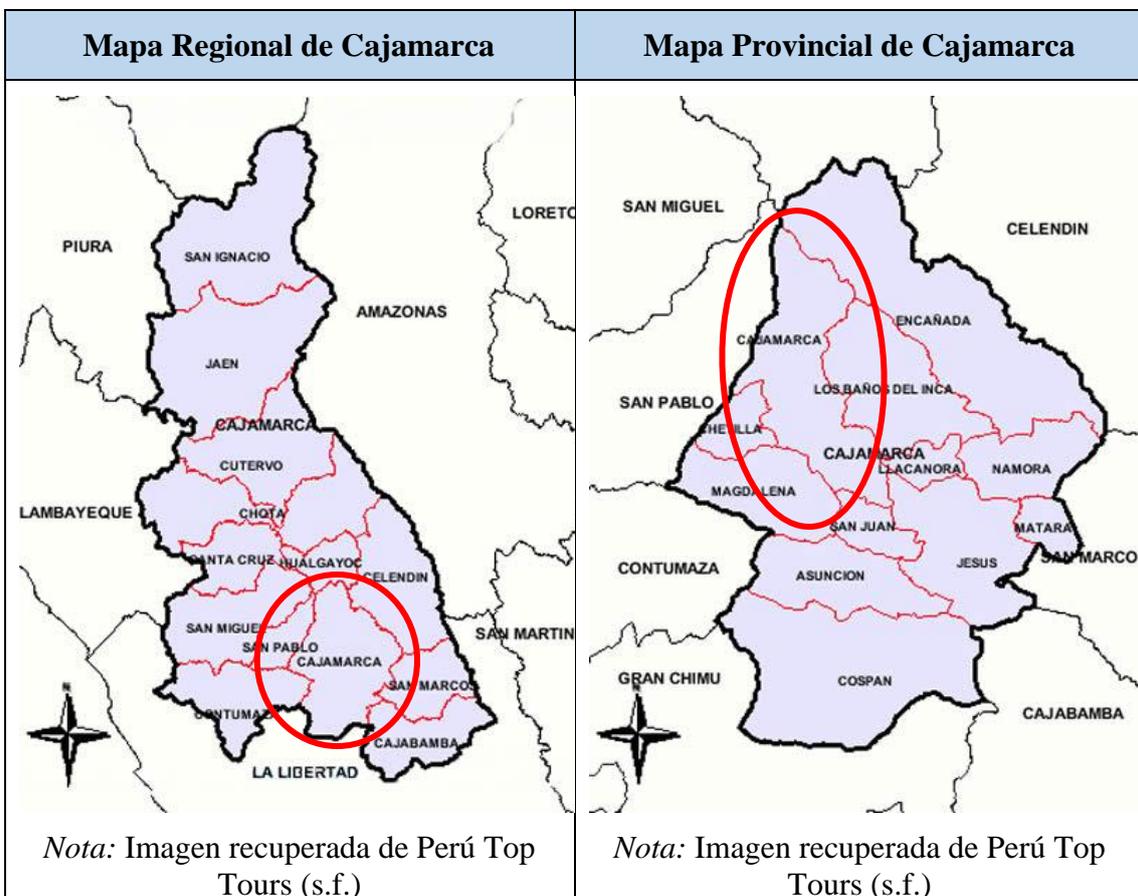


Figura 2

Ubicación de la cantera Hnos. Alaya.



Nota: Imagen obtenida de Google Earth Pro (2024)

De igual manera, la presente investigación se realizó entre los meses de marzo del 2024 a noviembre del 2024. Los ensayos de Laboratorio de realizaron entre los meses de julio y octubre del 2024 en la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.2. Tipo, Nivel y Método de la investigación

3.2.1. Tipo

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que tiene como propósito brindar una solución a un problema concreto del ámbito de la ingeniería civil, mediante el análisis del módulo de rotura del concreto hidráulico.

3.2.2. Nivel

El nivel de la presente investigación es correlacional, ya que tiene como finalidad determinar el grado de relación existente entre el porcentaje de adición de fibra de vidrio y el módulo de rotura del concreto hidráulico.

3.2.3. Método de investigación

El método de investigación es experimental, dado que se manipuló deliberadamente la variable independiente (porcentaje de adición de fibra de vidrio) para observar su efecto sobre la variable dependiente (módulo de rotura del concreto hidráulico). Para ello, se compararon los resultados obtenidos entre un concreto patrón y mezclas experimentales con distintos niveles de adición, bajo condiciones controladas de laboratorio.

3.3. Población de estudio

La población de estudio estuvo compuesta por probetas de concreto cilíndricas y prismáticas con una resistencia $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$. Se incluyeron una mezcla patrón y mezclas experimentales, en las que se realizó una adición de fibra de vidrio.

3.4. Muestra

Se optó por un muestreo probabilístico, al tratarse de una investigación de carácter científico que busca garantizar la representatividad de los datos. El tamaño de la muestra se determinó utilizando la siguiente fórmula estadística, aplicable a un muestreo aleatorio simple:

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

Siendo:

n = Tamaño de muestra

Z= valor del parámetro estadístico asociado al nivel de confianza

p = Probabilidad de ocurrencia del evento

q = Probabilidad de no ocurrencia del evento (q=1-p)

e = Error de estimación

Para un nivel de confianza del 95%, se utilizó un valor $Z = 1.96$. Considerando una probabilidad de ocurrencia del 95% ($p = 0.95$), una probabilidad complementaria del 5% ($q = 0.05$) y un margen de error del 5% ($e = 0.05$), se tiene:

$$n = \frac{1.96^2 * 0.95 * 0.05}{0.05^2}$$

$$n = 72.99 \cong 73 \text{ muestras}$$

No obstante, por criterios logísticos, de viabilidad económica y distribución uniforme de muestras, se decidió trabajar con 72 muestras tanto para elementos

cilíndricos como prismáticos. Estas se distribuyeron según el porcentaje de fibra de vidrio como se detalla en las Tablas 5 y 6.

Tabla 5

Cantidad de probetas cilíndricas de concreto para cada porcentaje de fibra de vidrio.

Ensayo	Porcentaje de fibra de vidrio	Edad		
		7 días	14 días	28 días
Resistencia a la compresión	0%	6	6	6
	0.25%	6	6	6
	0.50%	6	6	6
	0.75%	6	6	6
Subtotal		24	24	24
Total		72		

Tabla 6

Cantidad de probetas prismáticas de concreto para cada porcentaje de fibra de vidrio.

Ensayo	Porcentaje de fibra de vidrio	Edad		
		7 días	14 días	28 días
Resistencia a la flexión	0%	6	6	6
	0.25%	6	6	6
	0.50%	6	6	6
	0.75%	6	6	6
Subtotal		24	24	24
Total		72		

3.5. Unidad de análisis

El módulo de rotura del concreto hidráulico de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, elaborado con diferentes porcentajes de fibra de vidrio (0%, 0.25%, 0.50% y 0.75%).

3.6. Equipos y Materiales de la investigación

- Balanza electrónica de precisión mínima de 0.1 g y capacidad aproximada de 6.2 kg.
- Tamices normalizados:
 - Agregado grueso: 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8".
 - Agregado fino: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200 (75 µm).
- Horno eléctrico con termostato
- Recipientes metálicos
- Varilla metálica de compactación
- Cucharón y pala
- Cesta metálica y gancho de suspensión
- Moldes cónicos y espátulas
- Máquina de Los Ángeles
- Balanza electrónica de precisión mínima de 1 g y capacidad aproximada de 30 kg.
- Moldes cilíndricos (15 x 30 cm).
- Moldes prismáticos (15 cm x 15 cm x 50 cm).
- Cono de Abrams para la determinación del asentamiento (slump).
- Mezcladora de concreto con capacidad de 11 pies³.
- Poza de curado
- Máquina de Ensayo a Compresión.
- Placas de neopreno.
- Vernier digital.
- Máquina de Ensayo a Flexión a tres puntos.

3.7. Procedimiento

3.7.1. Propiedades de los agregados

Entre las propiedades de los agregados que influyen en el diseño de mezcla se encuentran: la granulometría, el peso específico, el peso unitario (suelto y compactado), la absorción, la humedad, la resistencia a la abrasión y el porcentaje de materiales finos que pasan por el tamiz N°200. Para obtener esta información, se realizaron los ensayos necesarios conforme a los requerimientos de la normativa NTP 400.037.

3.7.1.1. Extracción y preparación de muestras tomadas de cantera Hnos. Alaya (NTP 400.010/ASTM D 3665)

La extracción y preparación de los agregados se realizaron conforme a los procedimientos de muestreo establecidos en la NTP 400.010. Para asegurar la representatividad, se tomó una masa mayor a la mínima exigida por la norma. Se seleccionaron al azar tres incrementos de igual tamaño, tal como lo indica la normativa, los cuales fueron combinados para formar la muestra de campo. Durante el transporte de los agregados fino y grueso, se tuvo especial cuidado para evitar cualquier tipo de contaminación.

3.7.1.2. Reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo - Método del cuarteo (NTP 400.043/ASTM C 702)

La reducción de muestras de agregados fino y grueso se llevó a cabo siguiendo las pautas establecidas en la NTP 400.043, empleando el Método B-Cuarteo.

- Procedimiento:

Se colocó el material sobre una superficie limpia y nivelada, para luego mezclarlo tres veces por volteo, formando al final un apilamiento cónico.

A continuación, este se aplanó hasta alcanzar un diámetro y espesor uniformes. Luego, se dividió en cuatro sectores circulares aproximadamente iguales, asegurando que cada parte represente adecuadamente las características de la muestra original. Se conservaron dos cuartos opuestos y se repitió el proceso hasta obtener el tamaño necesario para la muestra requerida.

3.7.1.3. Análisis Granulométrico de Agregados (NTP 400.012/ASTM C 136)

Se realizó de acuerdo al procedimiento establecido en la NTP 400.012 y en la norma ASTM C 136.

- Procedimiento:

Se obtuvo una muestra representativa del agregado a analizar. Posteriormente, la muestra se secó a temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ para eliminar cualquier humedad que pueda afectar los resultados del análisis. Una vez seca, se pesó para determinar su masa total.

Luego esta se pasa a través de una serie de tamices establecidos. Luego del tamizado, se pesa el material retenido en cada tamiz y se verificó que la suma de estos pesos coincidiera con el peso total de la muestra seca. Finalmente, se calcularon los porcentajes de material retenido en cada tamiz, así como el porcentaje acumulado que pasa por cada uno de ellos.

Se calculó mediante las siguientes expresiones:

Porcentaje retenido por tamiz:

$$\% \text{ Retenido}_x = \frac{W_x}{W} \times 100$$

Donde:

$\% \text{ Retenido}_x$ = Porcentaje de muestra retenido en cada tamiz

W_x = Peso retenido en cada tamiz (gr)

W = Peso total de la muestra (gr)

Porcentaje retenido acumulado:

$$\% \text{ Retenido acumulado}_x = \sum_{i=1}^x \% \text{ Retenido}_i$$

Donde:

$\% \text{ Retenido acumulado}_x$ = Porcentaje acumulado de material retenido desde el primer tamiz hasta el tamiz considerado

$\%Retenido_i$ = Porcentaje retenido en cada tamiz individual

Porcentaje que pasa:

$$\% \text{ que pasa}_x = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}_x$$

Donde:

$\% \text{ que pasa}_x$ = Porcentaje de material que atraviesa un tamiz determinado.

3.7.1.4. Material más fino que pasa el tamiz normalizado 75 μm (N°200) (NTP 400.018/ASTM C -117)

Se realizó de acuerdo al procedimiento establecido en la NTP 400.018.

- Procedimiento:

Una vez obtenida la muestra representativa mediante el método de cuarteo, se procedió a secar la muestra a peso constante a una temperatura de $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$. Y posteriormente, se registró este peso seco inicial (P_1). Luego, se colocó la muestra en un recipiente y fue cubierta por agua. Se agitó la muestra enérgicamente para desprender por completo todas las partículas más finas que el tamiz normalizado de 75 μm (N°200). En seguida, se vertió el agua de lavado con las partículas finas suspendidas, evitando en lo posible, la decantación de las partículas gruesas. Se repite este proceso hasta alcanzar un agua de lavado totalmente clara. Finalmente se colocó a secar en el horno a una temperatura de $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ y se tomó registro del peso seco de la muestra ensayada después del lavado (P_2).

La cantidad de material que pasa el tamiz normalizado de 75 μm (N°200) se calculó mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

A = Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz normalizado de 75 μm (N°200)

P_1 = Peso seco de la muestra original (gr)

P_2 = Peso seco de la muestra ensayada (gr)

3.7.1.5. Módulo de finura (NTP 400.011/ASTM C 33)

Se realizó de acuerdo al procedimiento establecido en la NTP 400.011.

Para los agregados finos se calculó mediante la sumatoria de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices normalizados respectivos dividido entre 100.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ acumulados retenidos } (N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

Para los agregados gruesos se calculó mediante la sumatoria de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices normalizados respectivos más el valor de 500, dividido entre 100.

$$MG = \frac{\sum \% \text{ acumulados retenidos } (3", 1\ 1/2", 3/4", 3/8", N^{\circ}4) + 500}{100}$$

3.7.1.6. Peso Unitario (NTP 400.017 / ASTM C -29)

Se realizó de acuerdo al procedimiento establecido en la NTP 400.017.

Peso unitario suelto

- Procedimiento:

Se tomó registro el peso del recipiente, luego se llenó con agregado el recipiente metálico con ayuda del cucharón desde una altura no mayor de 5cm hasta rebosar el recipiente, se eliminó el agregado sobrante con la varilla y se calculó el peso del recipiente metálico con el agregado.

Peso unitario compactado

- Procedimiento:

Se tomó registro el peso del recipiente, luego a se llenó con agregado el recipiente metálico a un tercio del total y apisonó uniformemente con 25 golpes con la varilla. Se realizó el mismo procedimiento en cada capa. Finalmente, se calculó el peso del recipiente metálico con el agregado.

Ambas se calcularon mediante la siguiente expresión:

$$P_U = \frac{(G-T)}{1000} x F$$

Donde:

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

G = Peso de la muestra suelta o compactada más recipiente (gr)

T = Peso de recipiente (gr)

F = Factor del recipiente de medida ($1/m^3$)

3.7.1.7. Peso específico y absorción (NTP 400.021-400.022 / ASTM C 127-C 128)

Se realizó de acuerdo al procedimiento establecido en la NTP 400.021 y 400.022 para el agregado grueso y fino respectivamente.

Peso específico de masa para agregado grueso

- Procedimiento:

Una vez seleccionada la muestra, se rechazó todo el material que pasa el tamiz 4.75 mm (N°4). La muestra retenida fue lavada para remover cualquier polvo o material fino adherido, y posteriormente se secó en horno a una temperatura de $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$.

Luego, se sumergió la muestra por $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$ para llenar los poros. Luego se removió la muestra del agua y se rodó sobre un paño absorbente hasta eliminar las partículas de agua visibles. Se procedió a determinar el peso de la muestra en condición de superficie saturada seca (B), después se sumergió en un recipiente y se utilizó una balanza con un gancho para suspender la cesta dentro del recipiente, se registró el peso de la cesta sumergida con la muestra de ensayo (C). Finalmente, la muestra fue secada nuevamente en horno a temperatura de $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$, y luego enfriada a temperatura ambiente durante 1 h a 3 h hasta alcanzar una temperatura en la que sea factible manipular el agregado (aprox. $50^{\circ}C$), se tomó registro de este peso (A).

Se calculó mediante la siguiente expresión:

- **Peso específico de masa (Pe_m):**

$$Pe_m = \frac{A}{(B - C)}$$

Donde:

P_{em} = Peso específico de masa

A = Peso de la muestra secada en horno (gr)

B = Peso de la muestra de superficie saturada seca en el aire (gr)

C = Peso aparente de la muestra saturada en agua (gr)

- **Peso específico de masa Saturado con Superficie Seca ($P_{e_{sss}}$):**

$$P_{e_{sss}} = \frac{B}{(B - C)}$$

- **Peso específico Aparente (P_{e_a}):**

$$P_{e_a} = \frac{A}{(A - C)}$$

Peso específico de masa para agregado fino

- Procedimiento:

Una vez seleccionada la muestra, esta fue secada en horno a temperatura de 110°C $\pm 5^\circ\text{C}$, y luego enfriada a temperatura ambiente hasta alcanzar una temperatura en la que sea factible manipular el agregado (aprox. 50 °C), Posteriormente, se cubrió con agua y se dejó en reposo durante 24 ± 4 horas.

Transcurrido ese tiempo, se decantó el exceso de agua, procurando evitar la pérdida de partículas finas. La muestra se colocó sobre una superficie plana no absorbente y se removió constantemente para asegurar un secado uniforme. Se realizó la prueba de humedad superficial para determinar el momento en que el agregado alcanza la condición de superficie seca.

Para esta prueba, se colocó la muestra en un molde cónico y se compactó con una varilla, aplicando 25 golpes distribuidos sobre la superficie. Luego, se retiró cuidadosamente el molde. Si la muestra conservaba la forma del molde, se consideró que aún contenía humedad superficial, por lo que se repitió el proceso hasta que la muestra se desmoronara al retirar el molde, lo cual indica que ha alcanzado la condición de superficie seca.

Una vez en esta condición, se introdujeron 500 g de la muestra preparada en un frasco volumétrico de 500 cm^3 , completando con agua hasta la marca de aforo. Se eliminaron las burbujas de aire visibles, ya sea de forma manual o mediante agitación mecánica. Posteriormente, se ajustó la temperatura de la muestra y el frasco a $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y se registró el peso total.

Finalmente, se extrajo la muestra del frasco, se secó en horno a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ y se dejó enfriar a temperatura ambiente por un periodo de $\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{2}$ horas. Se registró entonces el peso seco de la muestra.

- **Peso específico de masa (Pe_m):**

$$Pe_m = \frac{A}{(B - V_a)}$$

Donde:

Pe_m = Peso específico de masa

A = Peso de la muestra secada en horno (gr)

B = Peso de la muestra de superficie saturada seca en el aire (gr)

V_a = Volumen del frasco más agua (gr)

- **Peso específico de masa Saturado con Superficie Seca (Pe_{sss}):**

$$Pe_{sss} = \frac{B}{(B - V_a)}$$

- **Peso específico Aparente (Pe_a):**

$$Pe_a = \frac{A}{(B - V_a) - (B - A)}$$

Absorción

Para el agregado grueso y fino se calculó mediante la siguiente expresión:

$$A_b(\%) = \frac{B - A}{A} \times 100$$

3.7.1.8. Contenido de vacíos en los agregados (NTP 400.017/ASTM C 29)

Se realizó de acuerdo al procedimiento establecido en la NTP 400.017 y se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ vacios} = \frac{(Pe_a \times Pe_{agua}) - P_U}{Pe_a \times Pe_{agua}} \times 100$$

Donde:

Pe_{agua} = Peso específico del agua (kg/m^3)

Pe_a = Peso específico aparente (kg/m^3)

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

3.7.1.9. Contenido de humedad (%) (NTP 339.185 / ASTM C 70)

Se realizó de acuerdo al procedimiento establecido en la NTP 339.185.

- Procedimiento:

La muestra representativa fue tomada en estado natural y fue protegida contra la pérdida de humedad antes de registrar su peso. Tras pesarla, se colocó a secar al horno a una temperatura de $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 h, se extrajo la muestra y dejó enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente, se registró el peso seco de la muestra.

Se calculó mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

P = Contenido total de humedad evaporable de la muestra (%)

W = Peso de la muestra húmeda original (gr)

D = Peso de la muestra seca (gr)

3.7.1.10. Resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños menores de 37.5 mm (1 ½") por medio de la máquina de los ángeles (NTP 400.019 / ASTM C 131)

Se realizó de acuerdo al procedimiento establecido en la NTP 400.019.

- Procedimiento:

La muestra representativa fue lavada y secada en horno a una temperatura de 110 ± 5 °C. Posteriormente, se separaron las fracciones individuales y se recombinaron según la Tabla 1 (Gradación de las muestras de ensayo) de la norma NTP 400.019, p. 7. Se registró la masa de la muestra antes del ensayo, con una aproximación de 1 gr. Luego se seleccionó el número de esferas (carga abrasiva) de acuerdo con la Tabla 7.

Tabla 7

Tamaño de la muestra de agregado.

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (gr)
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15

Se colocó la muestra y la carga de acuerdo con el tipo de gradación a la máquina de Los Ángeles para que gire a velocidad de 30 a 33 r.p.m., por 500 revoluciones. Luego, se descargó el material para realizar una separación preliminar de la muestra que pasa por el tamiz N°12 (1.70 mm). Seguidamente, se lavó el material más grueso que el tamiz N°12 (1.70 mm). Por último, se procedió a colocar a secar el material al horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 h, se extrajo la muestra y se registró el peso de la muestra seca.

Se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ abrasión} = \frac{W_o - W_f}{W_o} \times 100$$

Donde:

W_o = Peso original de la muestra antes de ensayar (gr)

W_f = Peso final de la muestra después de ensayar (gr)

3.8. Características físicas de la fibra de vidrio

3.8.1. Largo y diámetro de la fibra de vidrio

Se realizaron mediciones del largo y diámetro de los filamentos de fibra de vidrio con el objetivo de mantener promedios constantes en ambas dimensiones (ver Tabla 25). De acuerdo con lo establecido por Crespo (2013), la longitud adecuada de la fibra de vidrio para su uso como refuerzo en concreto oscila entre 30 y 70 mm. La fibra utilizada en esta investigación se encuentra dentro de ese rango, por lo que se considera adecuada para este propósito.

Para la elaboración de los especímenes se requirió una gran cantidad de fibra, la cual fue desmenuzada manualmente, separando aquellas fibras que no se ajustaban al tamaño promedio, especialmente aquellas significativamente más largas. En nuestra ciudad, la fibra de vidrio se comercializa por kilogramo en forma de manta, razón por la cual se procedió a su desmenuzamiento manual, utilizando el equipo de protección personal (EPP) correspondiente.

Se seleccionó la fibra de vidrio tipo E, específicamente el producto “Powder Chopped Strand Mats E-Glass”, fabricado por China Jushi Co., Ltd., en Zhejiang, China.

La relación de aspecto (longitud-diámetro) que se obtuvo de la fibra de vidrio fue la siguiente:

$$Relacion \frac{L}{D} = \frac{48.07}{0.12} = 400.58$$

3.8.2. Peso específico de la fibra de vidrio

El peso específico de la fibra de vidrio utilizado en esta investigación se asumió como 2.38 g/cm^3 , valor obtenido experimentalmente por Huamán (2015) en un estudio similar (Ver Anexo IV).

3.9. Características del cemento

El cemento empleado fue el Cemento Portland Tipo I (normal) de la empresa Cementos Pacasmayo S.A.A. Dicho cemento se ajusta a los estándares requeridos en la norma NTP 334.009.

3.10. Características del agua

El agua utilizada fue tomada del laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, la cual se ajusta a los estándares requeridos en la norma NTP 339.088.

3.11. Diseño de mezcla

Para el diseño de la mezcla en esta investigación, se utilizó el método del "Módulo de fineza de la combinación de los agregados", siguiendo las tablas y recomendaciones propuestas por el Comité 211 del ACI. Se determinó una resistencia de diseño a la compresión de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, valor representativo en el diseño de pavimentos rígidos conforme a lo establecido en el ACI 325.10R-15.

3.11.1. Procedimiento del diseño de mezcla

Los pasos realizados para el método en mención son los siguientes:

- 1° Selección de la resistencia a compresión promedio requerida ($f'cr$). Para asegurar alcanzar la resistencia requerida cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar se suma 85 kg/cm^2 , se utilizó la Tabla 50. (Ver Anexos VI)
- 2° Selección del tamaño máximo nominal (TMN=1/2”).
- 3° Selección de consistencia (plástica), se utilizó Tabla 51. (Ver Anexos VI)
- 4° Determinación del volumen unitario de agua, se utilizó Tabla 48. (Ver Anexos VI)
- 5° Determinación de contenido de aire atrapado, se utilizó Tabla 49. (Ver Anexos VI)
- 6° Selección de relación agua-cemento por resistencia, se utilizó Tabla 52. (Ver Anexos VI)
- 7° Determinación de factor cemento por unidad cúbica, en función del cemento y el peso de la bolsa de cemento.

$$\text{Factor Cemento (FC)} = \frac{\text{Volumen unitario de agua de diseño}}{42.5 * \text{Relacion A/C}}$$

- 8° Cálculo de volumen absoluto de cemento. Se utilizó la siguiente formula:

$$V_{abs.cemento} = \frac{FC}{P.e_{cemento}}$$

- 9° Cálculo de volumen absoluto de pasta. Se utilizó la siguiente formula:

$$V_{abs.pasta} = V_{abs.cemento} + \frac{\text{Agua de mezclado}}{P \cdot e_{agua}} + \% \text{ aire atrapado}$$

10° Cálculo de volumen absoluto de agregados. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$V_{abs.agreg.} = 1 \text{ m}^3 - V_{abs.pasta}$$

11° Cálculo del módulo de la combinación de agregados (*mc*), se utilizó la Tabla 53.

12° Cálculo de la incidencia de agregado fino y grueso mediante fórmula de método del "Módulo de fineza de la combinación de los agregados", la cual es la siguiente:

$$rf = \frac{mg - mc}{mg - mf} * 100$$

Donde:

mf = Módulo de fineza del agregado fino.

mg = Módulo de fineza del agregado grueso.

mc = Módulo de la combinación de agregados (Tabla 53).

rf = Porcentaje de agregado fino en relación con el volumen abs. del agregado (%*A.F.*)

13° Determinación de volumen absoluto de agregado fino y grueso

$$Vol_{A.F.} = V_{abs.agreg.} * \%A.F.$$

$$Vol_{A.G.} = V_{abs.agreg.} * (100 - \%A.F.)$$

14° Determinación de pesos secos de agregado fino y grueso

$$Peso \text{ seco}_{A.F.} = Vol_{A.F.} * P \cdot e_{A.F.}$$

$$Peso \text{ seco}_{A.G.} = Vol_{A.G.} * P \cdot e_{A.G.}$$

15° Corrección por humedad de agregado fino y grueso

- Pesos húmedos de agregado fino y grueso

$$Peso \text{ húmedo}_{A.F.} = Peso \text{ seco}_{A.F.} * (1 + \text{Contenido de humedad}_{A.F.}/100)$$

$$Peso \text{ húmedo}_{A.G.} = Peso \text{ seco}_{A.G.} * (1 + \text{Contenido de humedad}_{A.G.}/100)$$

- Humedad Superficial de agregado fino y grueso

Este valor es expresado en porcentaje y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad Superficial}_{A.F.}(\%) = \text{Contenido de Humedad}_{A.F.} - \text{Absorción}_{A.F.}$$

$$\text{Humedad Superficial}_{A.G.}(\%) = \text{Contenido de Humedad}_{A.G.} - \text{Absorción}_{A.G.}$$

- Aporte de Humedad de agregado grueso y fino

$$\text{Aporte Humedad}_{A.F.} = Peso \text{ seco}_{A.F.} * \text{Humedad Superficial}_{A.F.}(\%)$$

$$\text{Aporte Humedad}_{A.G.} = \text{Peso seco}_{A.G.} * \text{Humedad Superficial}_{A.G.}(\%)$$

- Agua efectiva

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua de diseño} + \text{Aporte Humedad}_{A.F.} + \text{Aporte Humedad}_{A.G.}$$

16° Determinación de proporción en peso de materiales

$$C : A. F. : A. G. / \text{Agua}$$

$$\text{Proporción en peso} = \frac{\text{Peso húmedo}}{\text{Peso de cemento}}$$

17° Determinación de proporción en volumen de materiales

$$\text{Proporción en volumen} = \frac{\text{Proporción en peso} * 42.5 * 35.315}{\left(1 + \frac{\text{Contenido de humedad}}{100}\right) * \text{Peso unitario suelto}}$$

3.11.2. Procedimiento para la elaboración de mezcla de prueba

Se tuvo en consideración realizar 03 especímenes cilíndricos de prueba, de los cuales se verificaría que se cumpla la resistencia a la compresión especificada a los 28 días (280 kg/cm^2).

Se calculó la tanda total de mezclado para tres (03) especímenes cilíndricos de concreto ($\text{Vol}=0.020 \text{ m}^3$). Para ello se efectuaron los cálculos siguientes:

- $\text{Cemento (Kg/tanda)} = \text{Cemento (Kg/m}^3) \times \text{tanda (0.02 m}^3)$
- $\text{Agregados (kg/tanda)} = \text{Agregados Húmedos (Kg/m}^3) \times \text{tanda (0.02 m}^3)$
- $\text{Agua Efectiva(lt/tanda)} = \text{Agua Efectiva(lt/m}^3) \times \text{tanda (0.02 m}^3)$

Luego, los pesos obtenidos son los siguientes:

- Cemento: 7.47 Kg/tanda.
- Agua Efectiva: 3.89 Lt/tanda.
- Agregado fino: 17.30 Kg/tanda.
- Agregado grueso: 16.94 Kg/tanda.

3.11.3. Procedimiento para la elaboración del ajuste de mezcla

Según los factores obtenidos en laboratorio se realizó el respectivo ajuste de mezcla, teniendo en cuenta:

- Agua de mezclado: Este deberá ser igual al volumen neto del agua de mezclado empleado dividido entre el rendimiento de la mezcla de ensayo.

- Corrección por asentamiento: Se deberá incrementar o disminuir el agua estimada en dos (02) litros por cada 1 cm de asentamiento hasta obtener el asentamiento deseado.
- Corrección por apariencia de la mezcla: Si la mezcla parece contener un exceso de agregado grueso, su volumen por metro cúbico deberá reducirse entre un 10% y un 15%. En cambio, si la mezcla parece tener un exceso de arena, se incrementará el volumen del agregado grueso en un 10% a 15%.
- Corrección por resistencia: Dado que, tras realizarse los ensayos en los especímenes de prueba con una relación $a/c=0.578$ (Tabla 63), se obtuvo una resistencia promedio de 314.83 kg/cm^2 a los 7 días (por encima del 100% de la resistencia de diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$), entonces, se consideró a la resistencia a los 28 días como 1.4 veces la resistencia a los 7 días (440.76 kg/cm^2). Luego se realizó el ajuste según la Ley de Powers:

$$R = 2380 * x^3$$

$$x = \frac{(0.647 * \alpha)}{\left(0.319 * \alpha + \frac{a}{c}\right)}$$

Dónde:

R = Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm^2).

x = Relación gel/espacio.

α = Grado de hidratación.

a/c = Relación agua/cemento.

Tras realizarse los cálculos respectivos se obtuvo una nueva relación $a/c=0.71$.

Se calcularon los nuevos volúmenes y pesos corregidos por humedad de materiales en el diseño de mezclas. Asimismo, la proporción en peso y volumen del diseño de mezcla.

Finalmente, se calculó la nueva proporción por tanda del diseño de mezcla.
(Vol=0.020 m^3)

- Cemento: 6.08 Kg/tanda.
- Agua Efectiva: 3.87 Lt/tanda.

- Agregado fino: 17.91 Kg/tanda.
- Agregado grueso: 17.54 Kg/tanda.

3.11.4. Procedimiento para la adición de fibra de vidrio en las proporciones de diseño

Para la presente investigación se consideró la adición de fibra de vidrio en proporciones de 0%, 0.25%, 0.50% y 0.75% respecto al volumen total de la mezcla de concreto.

Los pasos realizados fueron los siguientes:

1° Se partió de los volúmenes absolutos establecidos en el ajuste de diseño de mezclas. Posteriormente, se añadió el volumen correspondiente de fibra de vidrio para cada porcentaje evaluado (0%, 0.25%, 0.50% y 0.75%). En este paso, se realizó un ajuste volumétrico mínimo a los agregados, con el fin de compensar el volumen ocupado por la fibra y mantener la trabajabilidad de la mezcla.

2° Se determinaron los pesos secos de los materiales.

3° Se ajustaron los pesos de los agregados finos y gruesos en función de su contenido de humedad.

4° Se calcularon las proporciones en peso del diseño de mezcla.

5° Se calcularon las proporciones en volumen del diseño de mezcla.

6° Finalmente, se determinó la proporción por tanda del diseño de mezcla.

3.12. Elaboración de las probetas de concreto (Cilíndricas y prismáticas)

Los especímenes cilíndricos fueron utilizados en los ensayos de resistencia a la compresión, mientras que los prismáticos se emplearon en los ensayos de flexión. Las dimensiones de los moldes empleados fueron de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura para los especímenes cilíndricos, y de 15 cm de sección cuadrada por 50 cm de longitud para los prismáticos.

El procedimiento se llevó a cabo de acuerdo con la norma NTP 339.183. Cabe señalar que, para la elaboración de las probetas con adición de fibra de vidrio, estas fueron previamente humedecidas antes de incorporarlas a la mezcladora, ya que introducirlas en seco puede generar mayor desperdicio del material.

3.13. Ensayos del concreto

3.13.1. Ensayos del concreto fresco

3.13.1.1. Asentamiento o Slump

El método de ensayo para medir el asentamiento del hormigón mediante el cono de Abrams, descrito en las normas NTP 339.035 o ASTM C143, evalúa la consistencia de la mezcla midiendo la disminución en altura, expresada en pulgadas o centímetros, de una masa de concreto que ha sido colocada y compactada en un molde metálico con forma de cono.

Según el asentamiento obtenido, el concreto puede clasificarse en tres categorías según su consistencia:

- **Seco:** asentamiento entre 0" y 2"
- **Plástico:** asentamiento entre 3" y 4"
- **Fluido:** asentamiento superior a 5"

3.13.1.2. Peso Unitario del concreto fresco

El procedimiento se realizó conforme a las normas NTP 339.046 y ASTM C138, siguiendo los pasos detallados a continuación:

1. Se registró el peso del recipiente vacío.
2. Se llenó el recipiente con la mezcla de concreto en tres capas iguales.
3. Cada capa fue compactada aplicando 25 golpes uniformes con una varilla de compactación, comenzando desde los bordes y avanzando hacia el centro.
4. En la última capa, el recipiente se llenó ligeramente por encima de su capacidad; posteriormente, con una espátula, se eliminaron los vacíos más grandes en la superficie, nivelando la mezcla con el borde superior del recipiente.
5. Finalmente, se registró el peso del recipiente con la muestra de concreto compactada.

Se calculó de la siguiente manera:

$$P_U = (W_{m+r} - W_r) \times F$$

Donde:

P_U = Peso unitario del agregado (Kg/m^3)

W_{m+r} = Peso de muestra compactada más recipiente (Kg)

W_r = Peso de recipiente (Kg)

F = Factor del recipiente de medida ($1/m^3$)

3.13.2. Ensayos del concreto endurecido

3.13.2.1. Peso unitario del concreto endurecido

El procedimiento se realizó conforme a las normas NTP 339.034 o ASTM C642, siguiendo los pasos detallados a continuación:

1. Se midió el diámetro de los especímenes cilíndricos en forma diagonal, dos veces por cada cara.
2. Se midió la altura de los especímenes, registrando dos lecturas con una precisión de 0.01 mm con el uso de un vernier digital.
3. Se tomó registro del peso los especímenes cilíndricos con el uso de una balanza de capacidad de 30 kg.

Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$P_{U^{\circ}CE} = \frac{W}{\frac{\pi D^2}{4} * H} * 1000$$

Donde:

$P_{U^{\circ}CE}$ = Peso unitario del concreto endurecido (Kg/m³).

W = Peso del espécimen de concreto (g)

D = Diámetro promedio del espécimen (cm)

H = Altura promedio del espécimen (cm)

3.13.2.2. Resistencia a la compresión

El ensayo de resistencia a compresión está establecido por normas como la NTP 339.034. Para su correcta ejecución, se registraron las dimensiones de los especímenes, conforme se detalla a continuación:

- Después del curado correspondiente de los especímenes cilíndricos, estos fueron retirados de la poza de curado y etiquetados con la fecha de vaciado, el porcentaje de fibra de vidrio y las iniciales de la tesista.
- Se midió el diámetro de los especímenes cilíndricos en forma diagonal, dos veces por cada cara.

- Se midió la altura de los especímenes, registrando dos lecturas con una precisión de 0.01 mm con el uso de un vernier digital.
- Se tomó registro del peso los especímenes cilíndricos con el uso de una balanza de capacidad de 30 kg.
- Se posicionó los especímenes cilíndricos en la Máquina de Ensayo a Compresión, se verificó que estas se encuentren centradas bajo las placas de neopreno en ambas caras.
- Se aplicó una carga axial a velocidad controlada hasta que se produjo la falla del espécimen.

Este procedimiento se realizó en un total de 72 especímenes cilíndricos de concreto ensayados a los 7, 14 y 28 días para cada porcentaje de fibra de vidrio.

Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{P * 101.97}{\pi * \frac{D^2}{4}}$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia a compresión del espécimen (kg/cm^2).

P = Carga máxima aplicada (kN).

D = Diámetro promedio registrado (cm).

3.13.2.3. Resistencia a la flexión

El ensayo de resistencia a flexión está establecido por normas como la NTP 339.078. Para su correcta ejecución, se registraron las dimensiones de los especímenes, conforme se detalla a continuación:

- Después del curado correspondiente de los especímenes prismáticos, estos fueron retirados de la poza de curado y etiquetados con la fecha de vaciado, el porcentaje de fibra de vidrio y las iniciales de la tesista.
- Se trazaron líneas con plumón indeleble para indicar las secciones destinadas a los apoyos.
- Se midieron las dimensiones de los especímenes, incluyendo longitud, ancho y profundidad.
- Se tomó registro del peso los especímenes prismáticos con el uso de una balanza de capacidad de 30 kg.

- Los especímenes prismáticos se posicionaron en la Máquina de Ensayo a Flexión a tres puntos, verificando que las líneas trazadas coincidieran con las piezas de apoyo.
- Se aplicó una carga transversal a velocidad controlada hasta que se produjo la fractura del espécimen.

Este procedimiento se realizó en un total de 72 especímenes prismáticos de concreto ensayados a los 7, 14 y 28 días para cada porcentaje de fibra de vidrio.

Ya que en cada espécimen la fractura se produjo en el tercio central de la luz de ensayo, entonces el módulo de rotura fue calculado mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

R = módulo de rotura (kg/cm^2).

P = carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayos (kg).

L = longitud de amplitud o luz libre entre apoyos (cm).

b = ancho promedio de la probeta (cm) en la fractura.

d = altura promedio de la probeta (cm) en la fractura.

3.14. Presentación de resultados

3.14.1. Resultados de las propiedades físicas de los agregados y fibra de vidrio

Tabla 8

Propiedades físicas de los agregados fino y grueso.

Propiedades	Agregado fino	Agregado grueso
Tamaño Máximo Nominal	-	1/2"
Peso específico de masa	2.610 g/cm ³	2.620 g/cm ³
Peso específico saturado superficialmente seco	2.640 g/cm ³	2.650 g/cm ³
Peso específico aparente	2.700 g/cm ³	2.710 g/cm ³
Peso unitario suelto	1652 kg/m ³	1443 kg/m ³
Peso unitario compactado	1770 kg/m ³	1564 kg/m ³
Contenido de humedad (%)	4.940	0.310
Absorción (%)	1.300	1.300
Módulo de finura	3.080	6.790
Abrasión (%)	-	28.00
% que pasa malla N° 200	3.500	0.400

Tabla 9*Características físicas de la fibra de vidrio Tipo E.*

Características físicas	Resultados
Peso específico de masa (gr/cm ³)	2.38
Largo promedio (mm)	48.07
Diámetro promedio (mm)	0.12
Relación de aspecto (L/D)	400.58

3.14.2. Resultados de diseños de mezcla**Tabla 10***Comparativa de pesos de los materiales corregidos por humedad por m³ para cada diseño de mezcla.*

Material	Und.	Tipo de diseño			
		Patrón	0.25% Fibra de Vidrio	0.50% Fibra de Vidrio	0.75% Fibra de Vidrio
Cemento	kg/m ³	304.23	304.23	304.23	304.23
Fibra de vidrio	kg/m ³	-	5.95	11.90	17.85
A. Fino Húmedo	kg/m ³	895.35	891.96	888.57	885.18
A. Grueso Húmedo	kg/m ³	876.83	873.51	870.18	866.86
Agua efectiva	lt/m ³	193.64	193.73	193.81	193.89

Tabla 11*Comparativa de proporción en peso para cada diseño de mezcla.*

Material	Tipo de diseño			
	Patrón	0.25% Fibra de Vidrio	0.50% Fibra de Vidrio	0.75% Fibra de Vidrio
Cemento	1	1	1	1
Fibra de vidrio	-	0.02	0.04	0.06
A. Fino Húmedo	2.94	2.93	2.92	2.91
A. Grueso Húmedo	2.88	2.87	2.86	2.85
Agua efectiva	27.05	27.06	27.07	27.09

3.14.3. Resultados de las propiedades físico-mecánicas del concreto

3.14.3.1. Resultados del peso unitario del concreto fresco

Tabla 12

Asentamiento de concreto fresco (Slump) para cada porcentaje de adición de fibra de vidrio.

Adición de fibra de vidrio	Slump obtenido
Patrón (0%)	3"-3.5"
0.25% Fibra de Vidrio	2.5"-3.25"
0.50% Fibra de Vidrio	1.5"-2"
0.75% Fibra de Vidrio	0.5"-1.25"

Tabla 13

Peso Unitario Promedio de concreto fresco para cada porcentaje de adición de fibra de vidrio.

Adición de fibra de vidrio	Peso Unitario Promedio del concreto fresco (kg/m³)	% Peso Unitario Promedio del concreto respecto a Patrón	Variación porcentual
Patrón (0%)	2375.3	100.00%	-
0.25% Fibra de Vidrio	2347.38	98.82%	-1.18%
0.50% Fibra de Vidrio	2286.34	96.25%	-3.75%
0.75% Fibra de Vidrio	2252.02	94.81%	-5.19%

3.14.3.2. Resultados del peso unitario del concreto endurecido

Tabla 14

Peso Unitario Promedio de concreto endurecido para cada porcentaje de adición de fibra de vidrio.

Tipo de muestra	Peso Unitario del concreto endurecido (kg/m ³)								
	Edad de ensayo								
	07 días			14 días			28 días		
	% P.U.			% P.U.			% P.U.		
	P.U. Promedio	Promedio respecto a Patrón	Variación porcentual	P.U. Promedio	Promedio respecto a Patrón	Variación porcentual	P.U. Promedio	Promedio respecto a Patrón	Variación porcentual
Patrón	2342.08	100.00%	-	2370.86	100.00%	-	2376.27	100.00%	-
0.25% FV	2310.76	98.66%	-1.34%	2351.54	99.19%	-0.81%	2354.19	99.07%	-0.93%
0.50% FV	2281.43	97.41%	-2.59%	2288.94	96.54%	-3.46%	2293.34	96.51%	-3.49%
0.75% FV	2246.16	95.90%	-4.10%	2253.26	95.04%	-4.96%	2257.26	94.99%	-5.01%

3.14.4. Resultados de la resistencia a compresión en los especímenes cilíndricos

Tabla 15

Resultados de la resistencia a compresión para cada porcentaje de adición de fibra de vidrio.

Tipo de muestra	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)								
	Edad de ensayo								
	07 días			14 días			28 días		
	% f'c			% f'c			% f'c		
	f'c promedio	Promedio respecto a Patrón	Variación porcentual	f'c promedio	Promedio respecto a Patrón	Variación porcentual	f'c promedio	Promedio respecto a Patrón	Variación porcentual
Patrón	277.40	100.00%	-	338.86	100.00%	-	368.17	100.00%	-
0.25% FV	247.73	89.30%	-10.70%	295.46	87.19%	-12.81%	326.71	88.74%	-11.26%
0.50% FV	182.57	65.81%	-34.19%	230.25	67.95%	-32.05%	244.75	66.48%	-33.52%
0.75% FV	146.98	52.98%	-47.02%	173.90	51.32%	-48.68%	191.29	51.96%	-48.04%

Figura 3

Resistencia a la compresión promedio para cada porcentaje de adición de fibra de vidrio obtenidos a los 7, 14 y 28 días.

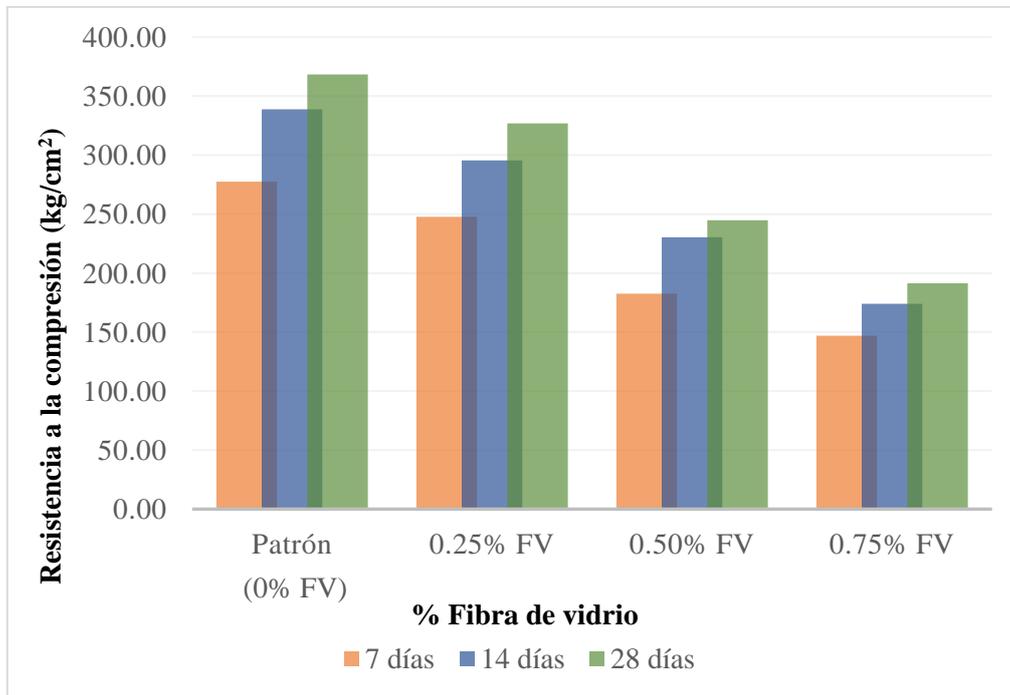
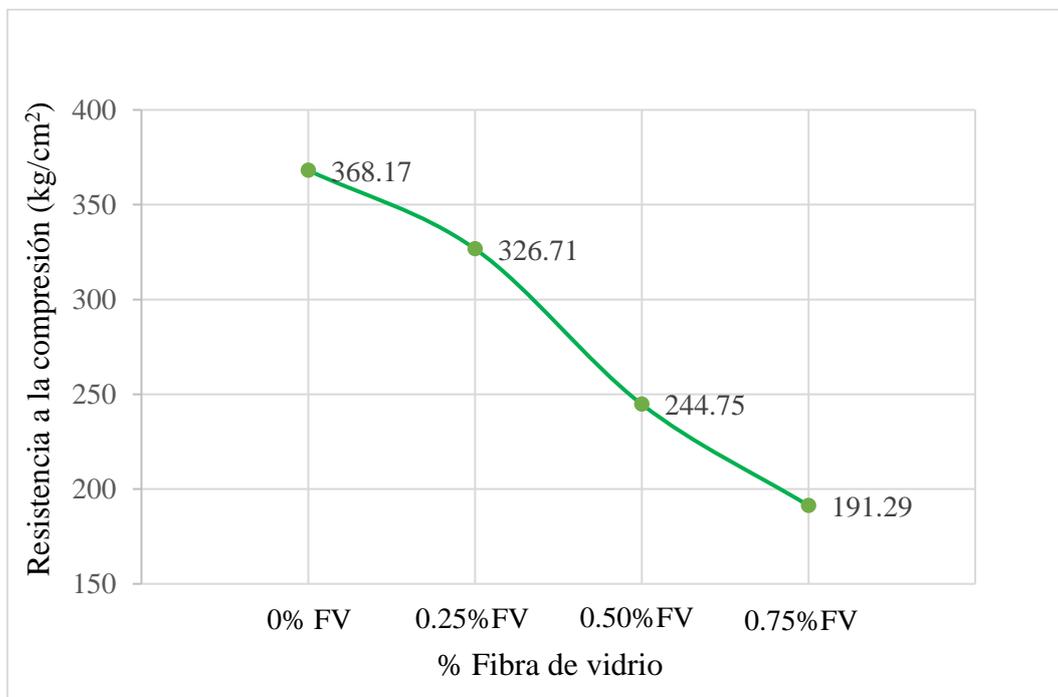


Figura 4

Resistencia a la compresión promedio a los 28 días vs % de fibra de vidrio.



3.14.5. Resultados de la resistencia a flexión en los especímenes prismáticos

Tabla 16

Resultados de la resistencia a flexión para cada porcentaje de adición de fibra de vidrio.

Tipo de muestra	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)								
	Edad de ensayo								
	07 días			14 días			28 días		
	Módulo de rotura	Módulo de rotura Promedio respecto a Patrón	Variación porcentual	Módulo de rotura	Módulo de rotura Promedio respecto a Patrón	Variación porcentual	Módulo de rotura	Módulo de rotura Promedio respecto a Patrón	Variación porcentual
Patrón	31.23	100.00%	-	36.51	100.00%	-	44.82	100.00%	-
0.25% FV	37.08	118.73%	18.73%	40.54	111.04%	11.04%	47.58	106.16%	6.16%
0.50% FV	33.71	107.94%	7.94%	39.34	107.75%	7.75%	47.15	105.20%	5.20%
0.75% FV	30.20	96.70%	-3.30%	35.48	97.18%	-2.82%	41.56	92.73%	-7.27%

Figura 5

Resistencia a la flexión promedio para cada porcentaje de adición de fibra de vidrio obtenidos a los 7, 14 y 28 días.

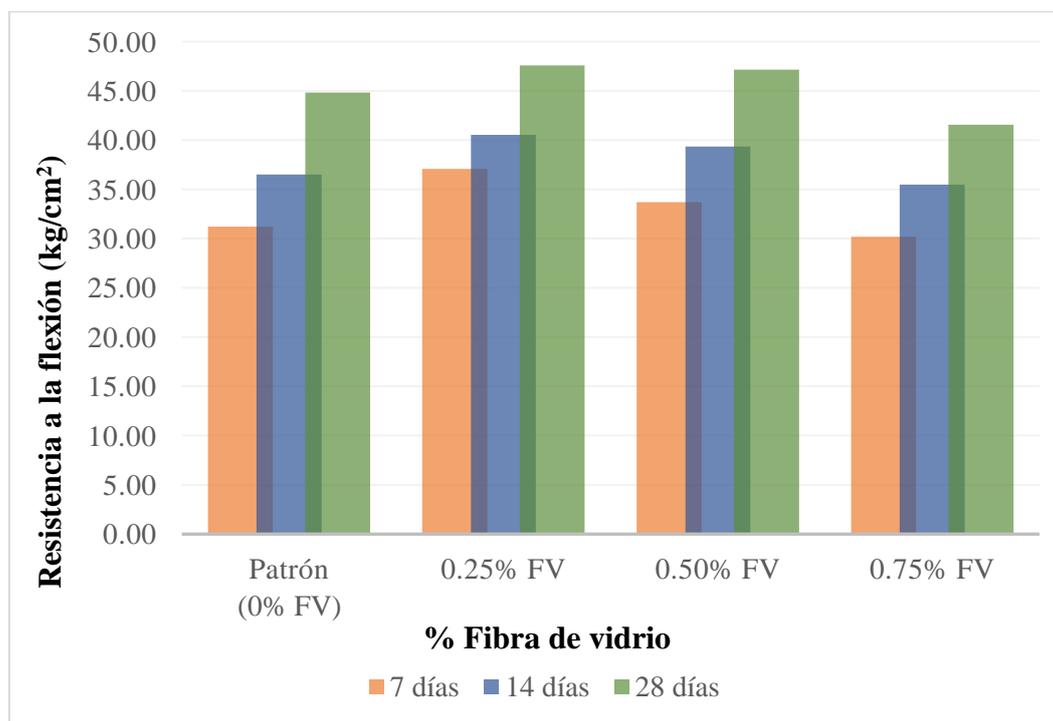
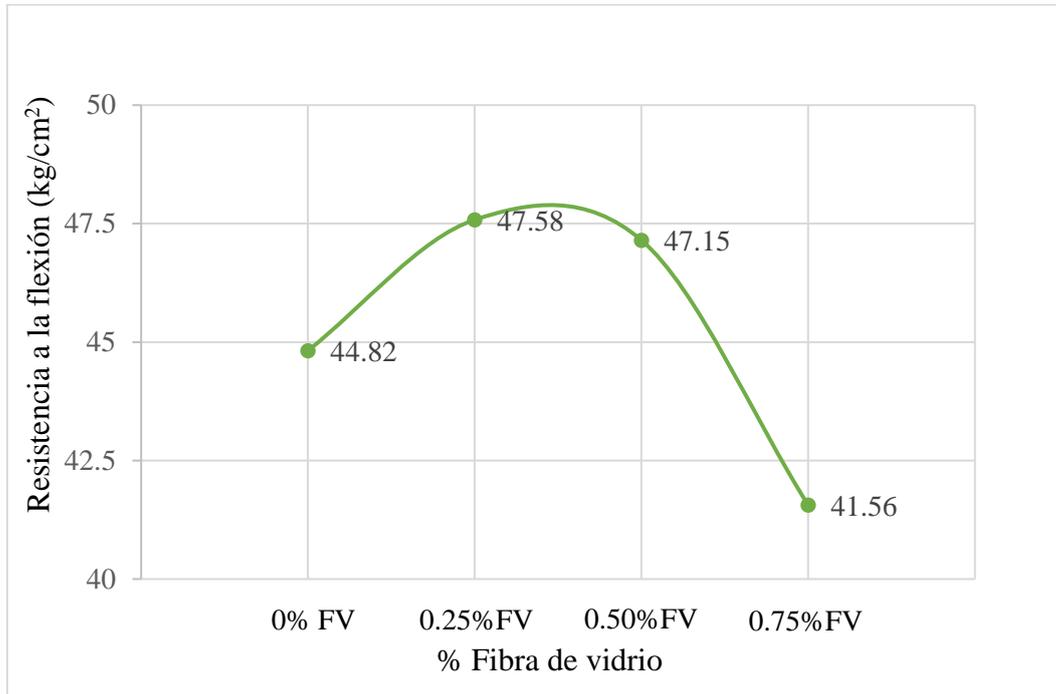


Figura 6

Resistencia a la flexión promedio a los 28 días vs % de fibra de vidrio.



3.14.6. Análisis estadístico de los resultados de la resistencia a compresión y flexión

3.14.6.1. Análisis estadístico de los ensayos de resistencia a la compresión

Tabla 17

Resumen estadístico de la resistencia a compresión del concreto según porcentaje de fibra de vidrio y edad.

% Fibra de vidrio	Edad (Días)	Variable	n	Media	D.E.	Var(n-1)	E.E.	CV	Mín	Máx
0.00	7	R. Compresión	6	277.40	3.87	14.94	1.58	1.39	272.21	284.14
0.00	14	R. Compresión	6	338.86	3.25	10.55	1.33	0.96	334.38	342.43
0.00	28	R. Compresión	6	368.17	2.71	7.34	1.11	0.74	364.80	373.04
0.25	7	R. Compresión	6	247.73	4.32	18.66	1.76	1.74	243.02	254.11
0.25	14	R. Compresión	6	295.46	4.33	18.74	1.77	1.47	290.15	301.91
0.25	28	R. Compresión	6	326.71	4.44	19.71	1.81	1.36	319.71	333.60
0.50	7	R. Compresión	6	182.57	4.68	21.89	1.91	2.56	177.62	190.93
0.50	14	R. Compresión	6	230.25	8.97	80.47	3.66	3.90	214.95	238.51
0.50	28	R. Compresión	6	244.75	5.36	28.73	2.19	2.19	240.12	253.98
0.75	7	R. Compresión	6	146.98	5.66	32.08	2.31	3.85	139.60	153.60
0.75	14	R. Compresión	6	173.90	5.02	25.20	2.05	2.89	167.12	178.79
0.75	28	R. Compresión	6	191.29	4.76	22.64	1.94	2.49	185.65	197.13

Tabla 18

Análisis de la varianza (ANOVA) para resistencia a la compresión.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
R. Compresión	72	0.98	0.98	3.66

Tabla 19

Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III) para resistencia a la compresión.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	327892.97	5	65578.59	772.47	<0.0001
% Fibra de vidrio	268580.88	3	89526.96	1054.56	<0.0001
Edad (Dia)	59312.09	2	29656.04	349.33	<0.0001
Error	5603.06	66	84.89		
Total	333496.03	71			

Tabla 20

Prueba de Tukey – Comparación por porcentaje de fibra de vidrio para resistencia a la compresión.

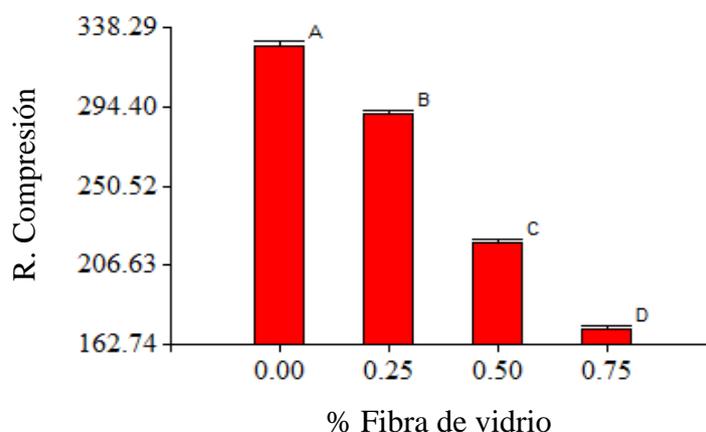
% Fibra de vidrio	Medias	n	E.E.	
0.00	328.14	18	2.17	A
0.25	289.97	18	2.17	B
0.50	219.19	18	2.17	C
0.75	170.72	18	2.17	D

Nota: Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Datos calculados para Alfa =0.05, DMS=8.09501

Figura 7

Comparación de Medias de la Resistencia a la compresión promedio a los 28 días según % de fibra de vidrio ($\pm E.E.$).



3.14.6.2. Análisis estadístico de los ensayos de resistencia a la flexión

Tabla 21

Resumen estadístico de la resistencia a flexión del concreto según porcentaje de fibra de vidrio y edad.

% Fibra de vidrio	Edad (Días)	Variable	n	Media	D.E.	Var(n-1)	E.E.	CV	Min	Máx
0.00	7	R. Flexión	6	31.23	0.35	0.12	0.14	1.11	30.65	31.58
0.00	14	R. Flexión	6	36.51	1.22	1.49	0.50	3.34	35.34	38.64
0.00	28	R. Flexión	6	44.82	0.69	0.47	0.28	1.54	44.13	45.86
0.25	7	R. Flexión	6	37.08	1.05	1.09	0.43	2.82	35.92	38.79
0.25	14	R. Flexión	6	40.54	0.84	0.70	0.34	2.06	39.27	41.70
0.25	28	R. Flexión	6	47.58	0.71	0.50	0.29	1.49	46.56	48.53
0.50	7	R. Flexión	6	33.71	1.07	1.15	0.44	3.18	32.47	35.61
0.50	14	R. Flexión	6	39.34	0.67	0.45	0.27	1.71	38.06	39.85
0.50	28	R. Flexión	6	47.15	0.84	0.70	0.34	1.77	45.98	48.56
0.75	7	R. Flexión	6	30.20	0.27	0.07	0.11	0.89	29.84	30.50
0.75	14	R. Flexión	6	35.48	0.65	0.42	0.26	1.82	34.54	36.34
0.75	28	R. Flexión	6	41.56	0.93	0.87	0.38	2.25	40.68	43.26

Tabla 22

Análisis de la varianza (ANOVA) para resistencia a la flexión.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
R. Flexión	72	0.97	0.97	2.57

Tabla 23

Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III) para resistencia a la flexión.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2196.17	5	439.23	441.06	<0.0001
% Fibra de vidrio	381.01	3	127.00	127.53	<0.0001
Edad (Dia)	1815.16	2	907.58	911.36	<0.0001
Error	65.73	66	1.00		
Total	2261.90	71			

Tabla 24

Prueba de Tukey – Comparación por porcentaje de fibra de vidrio para resistencia a la flexión.

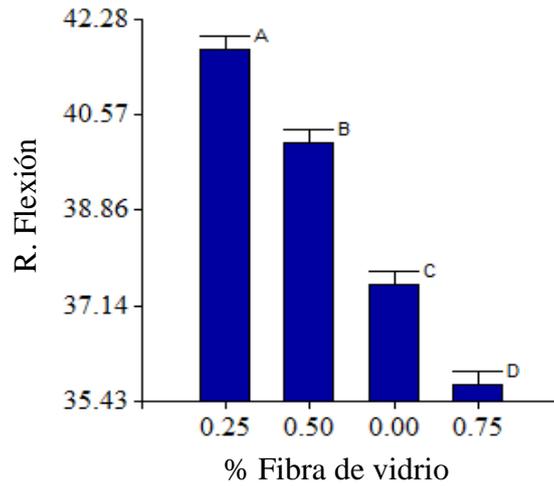
% Fibra de vidrio	Medias	n	E.E.	
0.25	41.73	18	0.24	A
0.50	40.07	18	0.24	B
0.00	37.52	18	0.24	C
0.75	35.75	18	0.24	D

Nota: Las medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).

Datos calculados para Alfa =0.05, DMS=0.87675

Figura 8

Comparación de Medias de la Resistencia a la flexión promedio a los 28 días según % de fibra de vidrio ($\pm E.E.$).



CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de las propiedades físicas de los agregados y fibra de vidrio

-Agregados:

En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos de las propiedades de los agregados evaluados. En cuanto al módulo de finura del agregado fino, se obtuvo un valor de 3.08, el cual se encuentra dentro del rango establecido por la norma NTP 400.012 (2.3 a 3.1). Este valor indica una granulometría adecuada, lo que favorece una buena trabajabilidad de la mezcla.

Asimismo, según la Tabla 8, el porcentaje que pasa por el tamiz N.º 200 fue de 3.50 % para el agregado fino y 0.40 % para el agregado grueso, ambos valores dentro de los límites permitidos por la NTP 400.037, que establece un máximo de 5 % para el agregado fino (bajo ciertas condiciones) y 1 % para el agregado grueso.

Por otro lado, la Tabla 8 muestra que los pesos específicos fueron de 2.61 g/cm^3 para el agregado fino y 2.62 g/cm^3 para el agregado grueso, ubicándose dentro del rango normal de $2.4 - 2.9 \text{ g/cm}^3$ señalado en la NTP 400.017.

En cuanto a los pesos unitarios, la Tabla 8 indica que el peso unitario suelto fue de 1652 kg/m^3 para el agregado fino y 1443 kg/m^3 para el agregado grueso, mientras que el peso unitario compactado fue de 1770 kg/m^3 y 1564 kg/m^3 , respectivamente. Estos valores se encuentran dentro de los rangos típicos reportados en la literatura técnica basada en la norma ASTM C29/C29M, que indica que los pesos unitarios de los agregados generalmente oscilan entre 1200 a 1850 kg/m^3 .

Finalmente, de acuerdo con la Tabla 8, el valor de abrasión del agregado grueso determinado por el método Los Ángeles fue de 28 %, lo cual cumple con la norma NTP 400.019, que establece un límite máximo de 50 % para agregados utilizados en concreto, indicando una adecuada resistencia al desgaste.

-Fibra de vidrio:

En la Tabla 9 se presentan las características físicas de la fibra de vidrio utilizada en el estudio. El peso específico determinado fue de 2.38 g/cm^3 , valor ligeramente menor que el de los agregados, lo cual puede influir en la distribución del refuerzo dentro de la mezcla. El largo promedio obtenido fue de 48.07 mm, valor que se encuentra dentro del rango recomendado en la literatura técnica, la cual sugiere longitudes entre 30 mm y 70 mm para fibras de vidrio empleadas en concreto. El diámetro promedio fue de 0.12 mm, resultando en una relación de aspecto (L/D) de 400.58. Esta relación supera el rango típico sugerido en la literatura técnica, que recomienda valores de L/D entre 20 y 100 para un desempeño óptimo en el concreto.

4.2. Análisis del diseño de mezcla de concreto

Las Tablas 10 y 11 presentan una comparativa de los pesos de los materiales corregidos por m^3 , así como su proporción en peso para cada diseño de mezcla con porcentajes de fibra de vidrio de 0% (mezcla patrón), 0.25%, 0.50% y 0.75%, considerando una resistencia de diseño de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$. El método empleado para el diseño fue el “Módulo de fineza de la combinación de agregados”.

Se observa que el contenido de cemento se mantiene constante en 304.23 kg/m^3 para todas las dosificaciones. Conforme aumenta el porcentaje de fibra, la cantidad de fibra de vidrio en la mezcla se incrementa proporcionalmente, pasando de 5.95 a 17.85 kg/m^3 . Esto se compensa con una ligera disminución en los agregados fino y grueso. Estos ajustes se realizaron con el objetivo de mantener constante el volumen total para preservar la trabajabilidad de la mezcla.

4.3. Análisis de la trabajabilidad

La Tabla 12 muestra los resultados obtenidos del ensayo de trabajabilidad, determinado mediante el método de asentamiento del Cono de Abrams. Se observa una tendencia decreciente en el asentamiento conforme se incrementa el porcentaje de fibra de vidrio en la mezcla.

Para la mezcla patrón (0% de fibra), el asentamiento se ubicó entre 3” y 3.5”, indicando una mezcla con buena trabajabilidad. Al incorporar un 0.25% de fibra de vidrio, el asentamiento disminuyó a un rango de 2.5” a 3.25”, manteniéndose aún dentro de un

nivel aceptable de trabajabilidad. Sin embargo, con adiciones del 0.50% y 0.75%, los valores descendieron significativamente a rangos de 1.5”-2” y 0.5”-1.25”, respectivamente, lo cual evidencia una mezcla poco trabajable.

4.4. Análisis del peso unitario del concreto fresco

La Tabla 13 presenta los resultados del peso unitario del concreto en estado fresco. Se observa una tendencia decreciente en este parámetro a medida que se incrementa el porcentaje de fibra de vidrio en la mezcla. El concreto patrón registró un peso unitario promedio de 2375.30 kg/m^3 , mientras que las mezclas con 0.25%, 0.50% y 0.75% de fibra de vidrio alcanzaron valores promedio de 2347.38 kg/m^3 , 2286.34 kg/m^3 , y 2252.02 kg/m^3 , respectivamente. A pesar de esta variación, todos los valores se encuentran dentro del rango típico reportado en la literatura técnica para concretos de peso normal, el cual oscila entre 2200 y 2400 kg/m^3 .

4.5. Análisis del peso unitario del concreto endurecido

La Tabla 14 presenta los resultados del peso unitario del concreto en estado endurecido. Se observa una tendencia decreciente en este parámetro a medida que se incrementa el porcentaje de fibra de vidrio en la mezcla. El concreto patrón registró a los 28 días un peso unitario promedio de 2376.27 kg/m^3 , mientras que las mezclas con 0.25%, 0.50% y 0.75% de fibra de vidrio alcanzaron valores promedio de 2354.19 kg/m^3 , 2293.34 kg/m^3 , y 2257.26 kg/m^3 , respectivamente.

4.6. Análisis de la resistencia a compresión

La Tabla 15 y la Figura 3 presentan los resultados promedio de la resistencia a la compresión obtenidos a los 7, 14 y 28 días, así como su representación gráfica. Se observa una tendencia decreciente en este parámetro conforme se incrementa el porcentaje de fibra de vidrio en la mezcla. En particular, la Figura 4 muestra una curva descendente que compara las resistencias a los 28 días respecto al concreto patrón.

La mezcla con 0.25% de fibra de vidrio alcanzó el 88.74% de la resistencia del concreto patrón (326.71 kg/cm^2 frente a 368.17 kg/cm^2), esta resistencia supera el mínimo de 280 kg/cm^2 establecido por el Manual de Carreteras del MTC para pavimentos rígidos de tránsito ligero.

Sin embargo, las mezclas con 0.50% y 0.75% de fibra de vidrio mostraron reducciones más significativas, alcanzando únicamente el 66.48% (244.75 kg/cm^2) y 51.96% (191.29 kg/cm^2) de la resistencia del concreto patrón, respectivamente. Estos valores no cumplen con los requisitos mínimos para aplicaciones en pavimentos rígidos.

4.7. Análisis de la resistencia a flexión

La Tabla 16 presenta los valores promedio de la resistencia a flexión (módulo de rotura) obtenidos a los 7, 14 y 28 días, mientras que la Figura 5 muestra su representación gráfica. En particular, la Figura 6 ilustra la variación de los valores a los 28 días en comparación con el concreto patrón.

A los 28 días, el concreto patrón alcanzó un módulo de rotura de 44.82 kg/cm^2 . Las mezclas con 0.25 % y 0.50% de fibra de vidrio mostraron un incremento en la resistencia a la flexión, registrando 47.58 kg/cm^2 y 47.15 kg/cm^2 , lo que representa aumentos del 6.16 % y 5.20 %, respectivamente. En cambio, la mezcla con 0.75 % de fibra de vidrio presentó una disminución de la resistencia, alcanzando 41.56 kg/cm^2 , lo que representa una reducción del 7.27% en comparación con el patrón.

Cabe resaltar que todos los valores obtenidos superan el mínimo de 40 kg/cm^2 establecido por el Manual de Carreteras del MTC para pavimentos rígidos de tránsito ligero.

4.8. Análisis de las pruebas estadísticas de resultados de los ensayos a compresión y flexión

Las Tablas 17 y 21 muestran los valores estadísticos obtenidos mediante el programa INFOSTAT para las resistencias a la compresión y a la flexión, respectivamente, en función del porcentaje de fibra de vidrio y la edad del concreto. En ambos casos, se observa que la resistencia promedio aumenta con la edad. Por otro lado, el incremento del porcentaje de fibra genera una disminución en la resistencia a compresión, mientras que la resistencia a flexión mejora con contenidos moderados (0.25 % y 0.50 %), presentando una disminución con 0.75 %. La desviación estándar, la varianza y el error estándar son bajos en todos los ensayos, lo que indica una dispersión reducida y precisión en las estimaciones. Además, el coeficiente de variación es inferior

al 4 % en todos los casos, lo que evidencia alta homogeneidad de las repeticiones obteniendo una mayor confiabilidad en los resultados experimentales.

Las Tablas 18 y 22 presentan los resultados del análisis de varianza para la resistencia a la compresión y a la flexión, respectivamente. En ambos casos, el coeficiente de determinación (R^2) y su valor ajustado alcanzan valores muy altos (0.98 para compresión y 0.97 para flexión), lo que indica que los modelos explican casi la totalidad de la variabilidad observada en los datos. Además, el coeficiente de variación (CV) es bajo en ambas variables (3.66 % en compresión y 2.57 % en flexión), reflejando una buena precisión y consistencia en los ensayos realizados.

Las Tablas 19 y 23 muestran el análisis de varianza (SC Tipo III) para la resistencia a la compresión y a la flexión, respectivamente. En ambos casos, los valores de F son altamente significativos ($p < 0.0001$) lo que indica que tanto el porcentaje de fibra de vidrio como la edad del concreto tienen un efecto estadísticamente significativo sobre las resistencias evaluadas.

Las Tablas 20 y 24 muestran los resultados de la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para los porcentajes de fibra de vidrio, aplicada a la resistencia a la compresión y a la flexión, respectivamente. En ambos casos, se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, ya que las medias se agrupan en letras distintas. Para la compresión, el contenido de 0.00% (patrón) obtuvo la mayor media ($328.14 \pm 2.17 \text{ kg/cm}^2$), seguido por 0.25%, 0.50% y finalmente 0.75%, mostrando una tendencia decreciente conforme aumenta el porcentaje de fibra. En contraste, para la resistencia a la flexión, el mayor valor promedio se registró con 0.25% de fibra ($41.73 \pm 0.24 \text{ kg/cm}^2$), seguido de 0.50%, 0.00% y 0.75%. Las Figuras 7 y 8 representan gráficamente estas diferencias, facilitando la visualización del comportamiento de las mezclas según el contenido de fibra.

De lo expuesto para la variable resistencia a la compresión, el valor obtenido con 0.25% de fibra de vidrio ($289.97 \pm 2.17 \text{ kg/cm}^2$) es el que más se aproxima al valor obtenido para el concreto patrón ($328.14 \pm 2.17 \text{ kg/cm}^2$), superando además el valor mínimo exigido para pavimentos rígidos (280 kg/cm^2). Por otro lado, en cuanto a la resistencia a la flexión, el porcentaje de 0.25% alcanza el valor más alto ($41.73 \pm 0.24 \text{ kg/cm}^2$) en comparación con el concreto patrón ($37.52 \pm 0.24 \text{ kg/cm}^2$).

4.9. Contratación de hipótesis

La hipótesis se valida parcialmente, ya que la fibra de vidrio produce un incremento superior al 5% en el módulo de rotura del concreto hidráulico con una resistencia de diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ para porcentajes de 0.25% (6.16%) y 0.50% (5.20%). Sin embargo, para un porcentaje de 0.75% el valor disminuyó (-7.27%).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La fibra de vidrio influye positivamente en el módulo de rotura del concreto hidráulico con resistencia de diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ en porcentajes de 0.25 % y 0.50%, destacando la dosificación de 0.25%, con 47.58 kg/cm^2 (+6.16%) a los 28 días, superando incluso el mínimo de 45 kg/cm^2 recomendado por el MTC para pavimentos de tránsito pesado, confirmando su viabilidad en diseño vial.
- La resistencia a la flexión del concreto patrón (0%) fue de 44.82 kg/cm^2 . Las mezclas con 0.25% y 0.50% de fibra de vidrio alcanzaron 47.58 kg/cm^2 y 47.15 kg/cm^2 , con incrementos del 6.16% y 5.20%, respectivamente. Sin embargo, con 0.75%, la resistencia disminuyó a 41.56 kg/cm^2 (-7.27%). Este comportamiento sugiere que un exceso de fibra puede dificultar su adecuada dispersión en la matriz del concreto, afectando negativamente su desempeño a flexión.
- La resistencia a compresión del concreto patrón (0%) fue de 368.17 kg/cm^2 . Con 0.25%, 0.50% y 0.75% de fibra de vidrio, se obtuvieron 326.71 kg/cm^2 (-11.26%), 244.75 kg/cm^2 (-33.52%) y 191.29 kg/cm^2 (-48.04%) respectivamente. Esos resultados muestran que su efecto sobre la resistencia a compresión es negativo al aumentar la dosificación. No obstante, con 0.25% el concreto aún supera el mínimo de 280 kg/cm^2 establecido por el Manual de Carreteras del MTC para pavimentos rígidos de tránsito ligero.

5.2. Recomendaciones

- Realizar investigaciones que incluyan la incorporación de aditivos plastificantes o superplastificantes en la mezcla de concreto, con el fin de mejorar la trabajabilidad y facilitar una adecuada dispersión de las fibras.
- Llevar a cabo estudios experimentales asegurando que la longitud de la fibra de vidrio utilizada se mantenga dentro del rango de 30 a 70 mm, tal como recomienda la literatura técnica, a fin de optimizar el desempeño mecánico del concreto.
- Realizar investigaciones utilizando porcentajes de fibra de vidrio inferiores a 0.25% (0.10%, 0.15% o 0.20%), con el objetivo de identificar el porcentaje óptimo que maximice la resistencia a la flexión sin afectar significativamente la resistencia a compresión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvites, A., & Guevara, L. (2019). Diseño de pavimento rígido adicionando fibra de vidrio en la Av. Argentina cuadra 13, Cercado de Lima, 2019 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60445>
- Amaya, J., & Ramírez, D. (2019). Evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23923/1/PROYECTO%20DE%20GRADO%20ENTREGA%20FINAL.pdf>
- American Concrete Institute. (2015). ACI 325.10R-15: Guide for designing concrete pavements. Farmington Hills, MI: ACI.
- American Concrete Institute. (2019). ACI 544.1R-19: State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete. Farmington Hills, MI: ACI.
- Arista, A., & Trujillo, J. (2022). Fibra de vidrio para mejorar las propiedades mecánicas del concreto [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/6078/T030_70336055_T%20%20%20ARISTA%20ORDINOLA%20JESUS%20EDUARDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ASTM International. (2011). ASTM D7018/D7018M-11: Standard Specification for Cut Strands of Glass Fibers for Use in Concrete. ASTM International.
- ASTM International. (2020). ASTM C125-20: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. ASTM International.
- ASTM International. (2022). ASTM C78/C78M-22: Método de prueba estándar para determinar la resistencia a la flexión del hormigón (usando una viga simple con carga de tres puntos).
- ASTM International. (2023). ASTM C31/C31M-23: Práctica Normalizada para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en campo.

- ASTM International. (2023). ASTM C39/C39M-23: Método de prueba estándar para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón.
- Crespo, S. (2013). Materiales de construcción para edificación y obra civil. Editorial Club Universitario.
- Huamán, C. (2015). Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de vidrio [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/633>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2014). Manual de Carreteras: Suelos, Geotecnia y Pavimentos. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Lima, Perú.
- Neville, A. M. (2013). Propiedades de los concretos (4.^a ed. final, S. Moliné Venanzi, Ed.). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- NTP 334.009. (2020) CEMENTOS HIDRÁULICOS. Requisitos. Instituto Nacional de Calidad del Perú. (INACAL). Lima, Perú.
- NTP 339.034. (2021) CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú.
- NTP 339.035. (2015) CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú.
- NTP 339.046. (2013). CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto). Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú.
- NTP 339.088. (2019). CONCRETO. Agua para mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú.

- NTP 339.185. (2013). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Lima, Perú. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú.
- NTP 400.010.(2016). AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú
- NTP 400.011.(2020). AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú.
- NTP 400.012.(2018). AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú.
- NTP 400.017.(2011). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú.
- NTP 400.018.(2013). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75um (Nº 200) por lavado en agregados. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú.
- 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. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú.
- NTP 400.021.(2018). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú.
- NTP 400.022. (2018). AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú.

- NTP 400.037. (2021). AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto). Requisitos. Lima. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú.
- NTP 400.043. (2015). AGREGADOS. Práctica normalizada para reducir las muestras de agregados a tamaño de ensayo. Instituto Nacional de Calidad (INACAL). Lima, Perú.
- Muñoz, C., Rivera, J., Sánchez, L., & Delgado, P. (2024). Glass fiber reinforced concrete: Overview of mechanical and microstructural analysis. *Journal of Building Materials and Structures*, 11(1), 45–58. https://www.researchgate.net/publication/379296272_Glass_fiber_reinforced_concrete_overview_of_mechanical_and_microstructural_analysis
- Pajares, A. (2024). Influencia de la fibra de vidrio en las propiedades mecánicas del concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ usando la cantera de Puruay, provincia de Cajamarca - Cajamarca [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6549>
- Perú Top Tours. (s.f.). *Mapa del departamento de Cajamarca* [Mapa]. Recuperado de https://www.perutoptours.com/index06ca_mapa_departamento.html
- Perú Top Tours. (s.f.). *Mapa de la provincia de Cajamarca* [Mapa]. Recuperado de https://www.perutoptours.com/index06ca_mapa_cajamarca.html
- Rondón, H., & Reyes, S. (2015). Pavimentos, Materiales, construcción y diseño. (1.ª ed.). Editorial Ecoe Ediciones.
- Shetty, M. S. (2020). Concrete technology: Theory and practice (7th ed.). S. Chand Publishing.
- Subandi, M., Riza, M., & Rimantho, D. (2019). Effect of additional fiberglass fiber on concrete performance. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(6), 1949–1952. https://www.researchgate.net/publication/337587943_Effect_of_Additional_Fiberglass_Fiber_on_Concrete_Performance

Tejada, M., & Salvatierra, R. (2019). Efecto de la fibra de vidrio tipo E sobre la resistencia a la compresión, flexión y absorción del concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39655>

Wikipedia contributors. (2024). *Peru - Cajamarca Department (locator map)* [Mapa]. Wikipedia. Recuperado de https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Peru_-_Cajamarca_Department_%28locator_map%29.svg

Zerbino, R. (2020). El hormigón reforzado con fibras y sus proyecciones dentro de la industria de la construcción. *Revista de Ingeniería*, año LXVII, no. 153, 15-16. Editorial Universidad Nacional de La Plata. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/109925>

ANEXOS

ANEXOS I: FICHA TECNICA DE CEMENTO PORTLAND TIPO I



Informe de ensayo de fábrica
CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
 Calle La Colonia Nro. 150 136. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
 Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
 Teléfono 317 - 6000



Planta: Pacasmayo

Cemento Tipo I

13 de mayo de 2024

Tipo I - Cemento Portland de Uso General

Periodo de despacho 01 de abril de 2024 - 30 de abril de 2024

REQUISITOS NORMALIZADOS

NTP 334.009 Tablas 1 y 3

QUÍMICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
MgO (%)	6.0 máx.	2.1
SO3 (%)	3.00 máx.	2.75
Perdida por ignición (%)	3.5 máx.	3.0
Residuo insoluble (%)	1.5 máx.	0.7
Alcalis Equivalentes (%)	A	0.8

FÍSICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
Contenido de aire del mortero (volumen %)	12 máx.	8
Superficie específica (m ² /kg)	260 mín.	390
Expansión en autoclave (%)	A	0.07
Densidad (g/cm ³)	A	3.09
Resistencia a la compresión (MPa)		
1 día	A	13.6
3 días	12.0 mín.	26.7
7 días	19.0 mín.	33.1
28 días *	28.0 mín.	39.7
Tiempo de fraguado Vicat (minutos)		
Inicial	45 mín.	128
Final	375 máx.	240
Expansión en barra de mortero curada en agua a 14 días (%)	0.020 máx.	0.006

A No específicas

* Requisito opcional

El (a) RC 28 días corresponde al mes de marzo del 2024

El (a) Expansión barra de mortero a 14 días corresponde al mes de marzo del 2024

Los resultados de los ensayos presentados en este informe, para el cemento descrito, cumplen con los requisitos especificados en la norma NTP 334.009 y ASTM C150.

Ing. Dennis E. Rodas Levado

Superintendente de Control de Calidad



DS 001-2022 PRODUCE
 Cemento Hidráulico
 utilizado en Edificaciones y
 Construcciones en General



NTP 334.009
 ASTM C 150
 Cemento Portland

Solicitado por:

Distribuidora Norte Pacasmayo S. R. L.

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

ANEXOS II: Panel Fotográfico fibra de vidrio tipo E- “POWDER CHOPPED STAND MATS E-GLASS”



Powder Chopped Stand Mats E-GLASS

E-Glass Powder Strand Mats are unwoven fabrics consisting of randomly distributed chopped strands held together with a powder binder.

Product Features

- Uniform density ensures consistent fiberglass content and mechanical properties of parts.
- Uniform powder distribution ensures good mat integrity and few loose fibers.
- Excellent flexibility ensures good moldability with no springback at sharp angles.
- Fast and consistent wet-out speed in resins and rapid air release reduce resin consumption and production cost and enhance productivity and mechanical properties of parts.
- The composite products have high dry and wet tensile strength and good transparency.



Compatible Resins and Applications

Powder Chopped Strand Mats are compatible with unsaturated polyester, vinyl ester, epoxy and phenolic resins. The products are most widely used in hand lay-up process and can also be used in filament winding, compression molding and continuous laminating processes to manufacture various panels, boats, bathroom equipment, automotive parts and cooling towers.

Product List

Property	Area Weight (%)		Moisture Content (%)	Combustible Content (%)		Breakage Strength (N)	Width (mm)
	Average	Single		P02	P04		
	ISO 3374		ISO 3344	ISO 1887		ISO 3342	ISO 5025
EMC225	-0.5 ~ +10.0	-10 ~ +20	≤0.20	3.1 ~ 6.2 (Central value:5.2)	3.0 ~ 6.0 (Central value:5.0)	≥ 60	± 5
EMC300	-0.5 ~ +10.0	-10 ~ +20	≤0.20	2.4 ~ 4.8 (Central value:4.0)	2.2 ~ 4.4 (Central value:3.7)	≥ 90	± 5
EMC575	-0.5 ~ +10.0	-10 ~ +20	≤0.20	1.8 ~ 3.6 (Central value:3.0)	1.9 ~ 3.6 (Central value:3.1)	≥ 100	± 5
EMC450	-0.5 ~ +10.0	-10 ~ +20	≤0.20	1.8 ~ 3.6 (Central value:3.0)	1.6 ~ 3.2 (Central value:2.7)	≥ 120	± 5
EMC600	-0.5 ~ +10.0	-10 ~ +20	≤0.20	1.5 ~ 3.0 (Central value:2.5)	1.5 ~ 3.0 (Central value:2.5)	≥ 150	± 5
EMC900	-0.5 ~ +10.0	-10 ~ +20	≤0.20	1.3 ~ 2.6 (Central value:2.2)	1.5 ~ 3.0 (Central value:2.5)	≥ 200	± 5

Note: Powder Chopped Strand Mats are available with width range of 50mm ~ 3120mm. The products are available with different wet-out and break up speeds, depending on the requirements of customers.

Packaging

Each Powder Chopped Strand Mat is wound onto a paper tube which has an inside diameter of 90mm and the mat roll has a diameter of 265mm. The mat roll is wrapped up with plastic film, and then packed in a cardboard box or wrapped up with kraft paper. The rolls can be packed vertically or horizontally. For transportation, the rolls can be loaded into a container directly or onto pallets.

Storage

Unless otherwise specified, fiberglass products should be stored in a dry, cool and rain-proof area. It is recommended that the room temperature and humidity should be always maintained at 15°C ~ 35°C and 35% ~ 65% respectively.

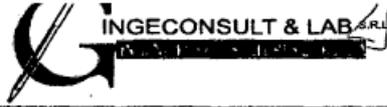
ANEXOS III: DIMENSIONES PROMEDIO DE FIBRA DE VIDRIO TIPO E

Tabla 25

Largo y Diámetro de filamento de muestras de fibra de vidrio Tipo E.

N° DE MUESTRAS	LARGO DE FILAMENTO DE FIBRA DE VIDRIO (mm)	DIAMETRO DE FILAMENTO DE FIBRA DE VIDRIO (mm)
M1	48.32	0.13
M2	48.44	0.13
M3	48.32	0.14
M4	47.79	0.12
M5	48.02	0.14
M6	48.61	0.12
M7	48.24	0.10
M8	47.32	0.09
M9	47.47	0.09
M10	48.17	0.11
Promedio	48.07	0.12

ANEXOS IV: ANALISIS FISICOQUÍMICO DE FIBRA DE VIDRIO TIPO E



Ensayos Físicos, Químicos y de Mecánica de Suelos,
Concreto y Pavimentos, Análisis Químicos de Minerales y Agua.
Estudio de: Mecánica de Suelos y Rocas, Concreto y Pavimentos.
Impacto Ambiental, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil.
PROYECTOS - ASESORÍA Y CONSULTORÍA
RPM: *696826 CELULAR: 976026950 TELÉFONO: 364793

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE UNA MUESTRA DE FIBRA DE VIDRIO

SOLICITA : ALEXANDER HUAMÁN QUISPE
PROYECTO : COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO
REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO"
FIBRA : FIBRA DE VIDRIO TIPO E - MAT 450
FECHA DE SOLICITUD : 20/11/14

Muestra	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	Temperatura de Ablandamiento	Peso específico de masa (gr/cm ³)
M-1	56.40	5.80	2.32	960°C	2.38

Nota: La muestra fue alcanzada al Laboratorio por el interesado.


Hugo Mosqueira Estraver
Jefe Lab. Químico
I.O. CIP 27664

ANEXOS V: TABLAS DE ENSAYOS PARA LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS DE LA CANTERA HNOS. ALAYA

1. PESO ESPECÍFICO DEL AGUA

Tabla 26

Peso específico del agua.

Descripción	Und.	Magnitud
Peso de la fiola	g	166.00
Peso de la fiola +agua	g	659.30
Volumen de la fiola	cm ³	500.00
Peso específico	g/cm ³	0.987
Peso específico (P.e)	kg/cm³	986.60

2. CÁLCULO DEL FACTOR F

• **AGREGADO GRUESO**

Tabla 27

Factor “f” del molde para el agregado grueso.

Descripción	Und.	Magnitud
Peso del molde	g	4216.00
Peso del molde +agua	g	13668.00
Peso del agua	kg	9.45
Factor f	1/m³	104.38

• **AGREGADO FINO**

Tabla 28

Factor “f” del molde para el agregado fino.

Descripción	Und.	Magnitud
Peso del molde	g	3875.00
Peso del molde +agua	g	6748.00
Peso del agua	kg	2.87
Factor f	1/m³	343.40

3. PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE LOS AGREGADOS

- **AGREGADO GRUESO**

Tabla 29

Peso Unitario Suelto del agregado grueso.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente	g	4216.00	4216.00	4216.00
Peso de muestra suelta + recipiente	g	18061.00	18038.00	18022.00
Peso de la muestra suelta	g	13845.00	13822.00	13806.00
Factor (f)	1/m ³	104.380	104.380	104.380
Peso Unitario Suelto	g/cm ³	1.445	1.443	1.441
Peso Unitario Suelto	kg/m ³	1445	1443	1441
Peso Unitario Suelto Promedio	Kg/m³		1443	

Tabla 30

Peso Unitario Compactado del agregado grueso.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente	g	4216.00	4216.00	4216.00
Peso de muestra compactada + recipiente	g	19202.00	19217.00	19175.00
Peso de la muestra compactada	g	14986.00	15001.00	14959.00
Factor (f)	1/m ³	104.380	104.380	104.380
Peso Unitario Compactado	g/cm ³	1.564	1.566	1.561
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1564	1566	1561
Peso Unitario Compactado Promedio	Kg/m³		1564	

- **AGREGADO FINO**

Tabla 31

Peso Unitario Suelto del agregado fino.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente	g	3875.00	3875.00	3875.00
Peso de muestra suelta + recipiente	g	8685.00	8671.00	8699.00
Peso de la muestra suelta	g	4810.00	4796.00	4824.00
Factor (f)	1/m ³	343.404	343.404	343.404
Peso Unitario Suelto	g/cm ³	1.652	1.647	1.657
Peso Unitario Suelto	kg/m ³	1652	1647	1657
Peso Unitario Suelto Promedio	Kg/m³		1652	

Tabla 32

Peso Unitario Compactado del agregado fino.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3
Peso del recipiente	g	3875.00	3875.00	3875.00
Peso de muestra compactada + recipiente	g	8999.00	9052.00	9033.00
Peso de la muestra compactada	g	5124.00	5177.00	5158.00
Factor (f)	1/m ³	343.404	343.404	343.404
Peso Unitario Compactado	g/cm ³	1.760	1.778	1.771
Peso Unitario Compactado	kg/m ³	1760	1778	1771
Peso Unitario Compactado Promedio	Kg/m³		1770	

4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

- **AGREGADO GRUESO**

Tabla 33

Peso específico del agregado grueso.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3
Peso de muestra SSS + canastilla sumergida	g	2641.00	2643.00	2642.00
Peso de canastilla sumergida	g	774.00	774.00	774.00
Peso de la muestra superficialmente seca	g	3000.00	3000.00	3000.00
Peso de la muestra secada al horno	g	2963.00	2962.00	2961.00
Peso de la muestra sumergida en el agua	g	1867.00	1869.00	1868.00
Peso Específico de Masa	g/cm³	2.615	2.619	2.616
→Promedio		2.620		
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/cm³	2.648	2.653	2.650
→Promedio		2.650		
Peso Específico de Aparente	g/cm³	2.703	2.710	2.709
→Promedio		2.710		

Tabla 34

Absorción del agregado grueso.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra superficialmente seca	g	3000.00	3000.00	3000.00
Peso de la muestra secada al horno	g	2963.00	2962.00	2961.00
Absorción	%	1.249	1.283	1.317
→Promedio		1.300		

- **AGREGADO FINO**

Tabla 35

Peso específico del agregado fino.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3
Peso de fiola	g	166.00	166.00	166.00
Peso de la fiola +agua hasta menizco	g	659.30	659.30	659.30
Peso de la fiola +agua + muestra	g	977.40	976.30	976.40
Peso de la muestra superficialmente seca	g	500.00	500.00	500.00
Peso de la muestra secada al horno	g	493.62	493.72	493.52
Volumen de agua añadida al frasco	g	311.40	310.30	310.40
Peso Específico de Masa	g/cm³	2.617	2.603	2.603
→Promedio		2.610		
Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco	g/cm³	2.651	2.636	2.637
→Promedio		2.640		
Peso Específico de Aparente	g/cm³	2.709	2.692	2.695
→Promedio		2.700		

Tabla 36

Absorción del agregado fino.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3
Peso de la muestra superficialmente seca	g	500.00	500.00	500.00
Peso de la muestra secada al horno	g	493.62	493.72	493.52
Absorción	%	1.292	1.272	1.313
→Promedio		1.300		

5. CONTENIDO DE HUMEDAD

Tabla 37

Contenido de humedad del agregado grueso.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3
Peso del Recipiente	g	56.00	56.00	59.00
Peso del Recipiente + muestra húmeda	g	947.00	932.00	892.00
Peso del Recipiente + muestra seca	g	944.00	929.00	890.00
Contenido de Humedad (W)		0.34	0.34	0.24
→Promedio	%		0.31	

Tabla 38

Contenido de humedad del agregado fino.

Descripción	Und.	M-1	M-2	M-3
Peso del Recipiente	g	56.00	59.00	56.00
Peso del Recipiente + muestra húmeda	g	862.00	884.00	823.00
Peso del Recipiente + muestra seca	g	824.00	845.00	787.00
Contenido de Humedad (W)		4.95	4.96	4.92
→Promedio	%		4.94	

6. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

• AGREGADO GRUESO

Tabla 39

Análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N°01.

Peso Muestra Seca Inicial =		5000.00			
Peso seco menor que 0.075 mm (Malla N°200) =		5000.00			
Malla		Peso retenido	Porcentaje retenido		Porcentaje que pasa
N°	Abertura (mm)	Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	(%)
1/2"	12.70	2365.00	47.30	47.30	52.70
3/8"	9.53	1561.00	31.22	78.52	21.48
N°4	4.75	1074.00	21.48	100.00	0.00
Cazoleta	--	0	0.00	100.00	0.00
TOTAL		5000.00			
MÓDULO DE FINURA =			6.79		

Figura 9

Curva de distribución granulométrica del agregado grueso – Ensayo N°01.

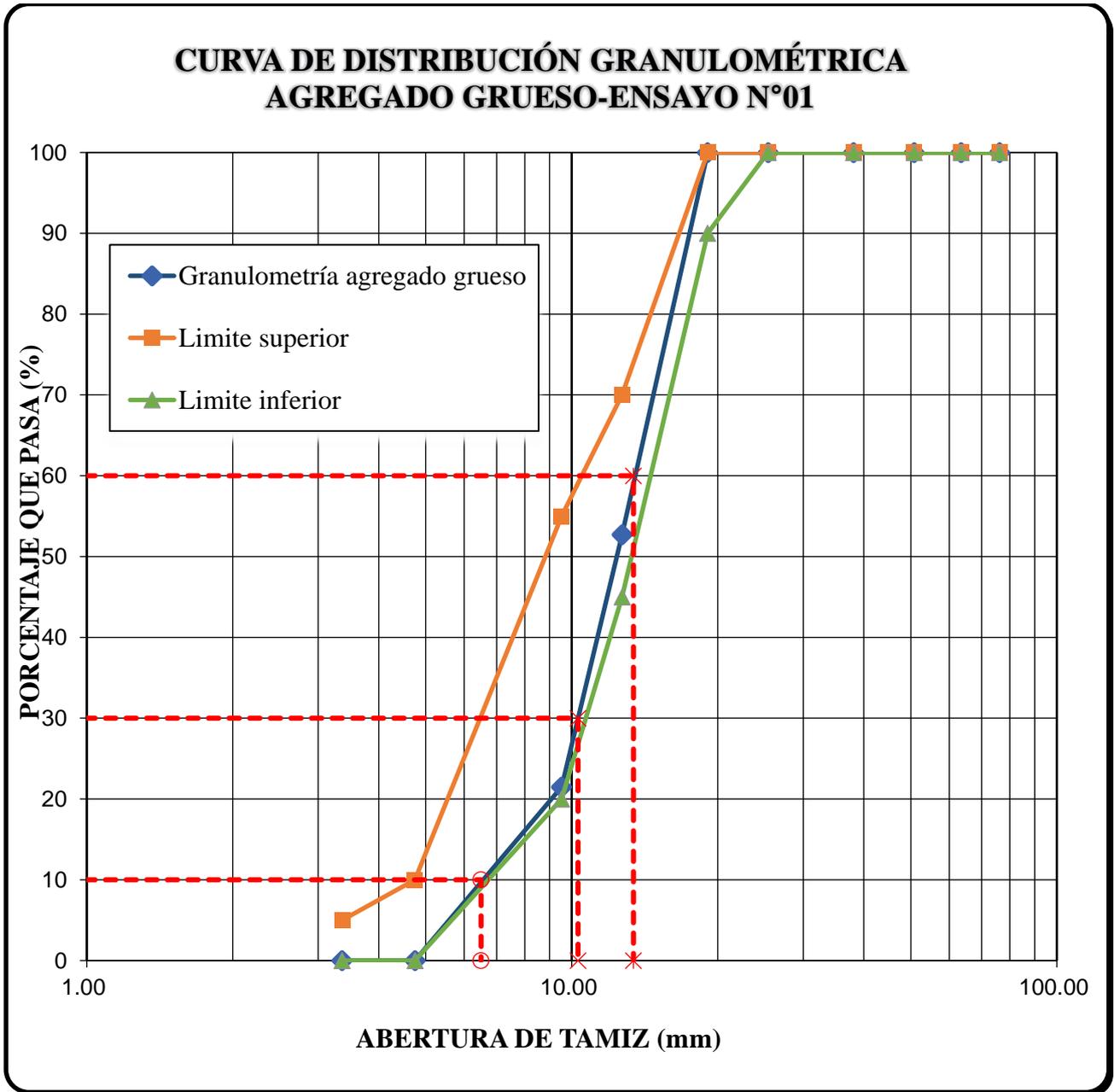


Tabla 40*Análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N°02.*

Peso Muestra Seca Inicial =		5000.00			
Peso seco menor que 0.075 mm (Malla N°200) =		5000.00			
Malla		Peso retenido	Porcentaje retenido		Porcentaje que pasa
N°	Abertura (mm)	Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	(%)
1/2"	12.70	2488.00	49.76	49.76	50.24
3/8"	9.53	1354.00	27.08	76.84	23.16
N°4	4.75	1158.00	23.16	100.00	0.00
Cazoleta	--	0	0.00	100.00	0.00
TOTAL		5000.00			
MÓDULO DE FINURA =			6.77		

Figura 10

Curva de distribución granulométrica del agregado grueso – Ensayo N°02.

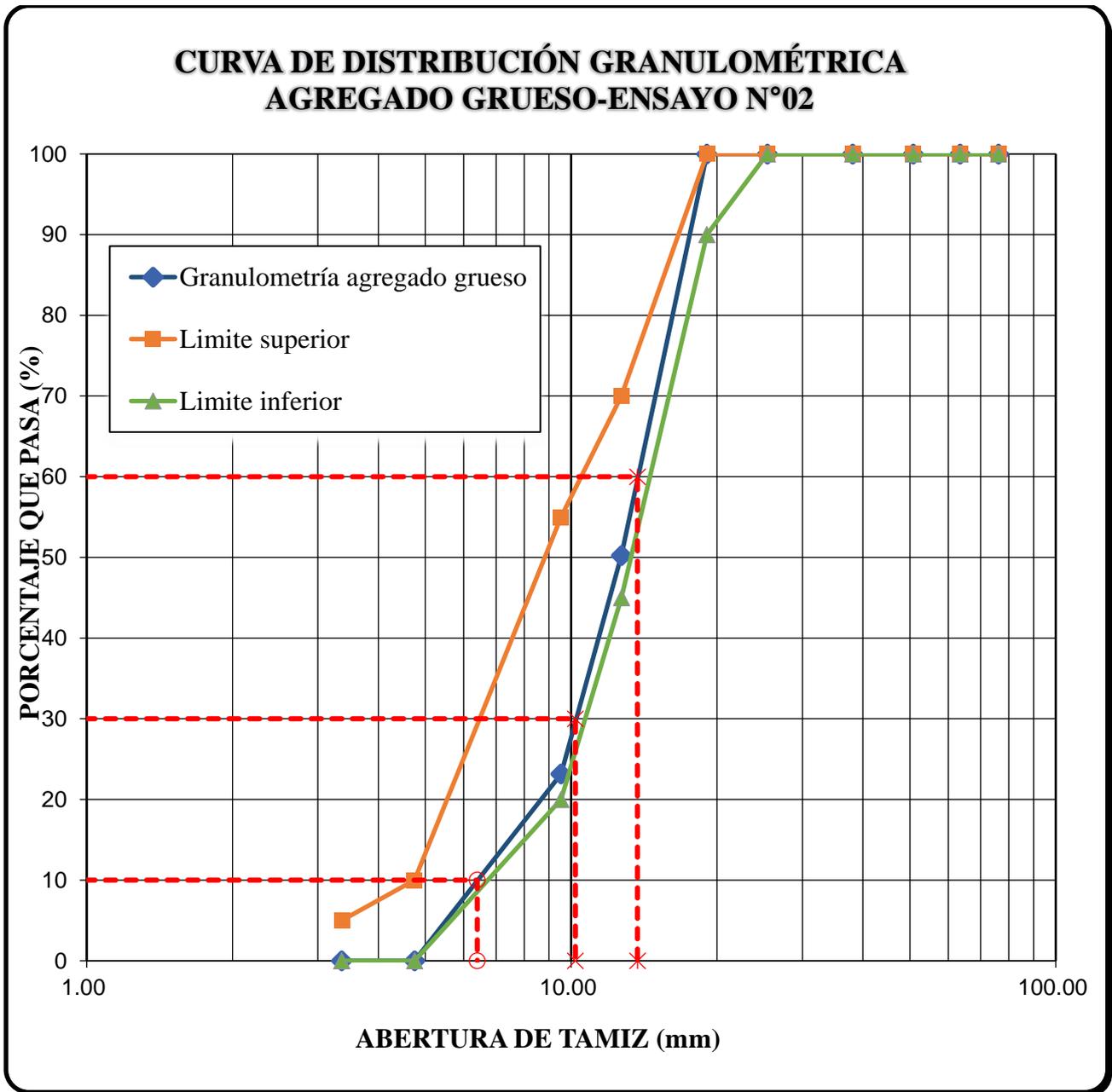
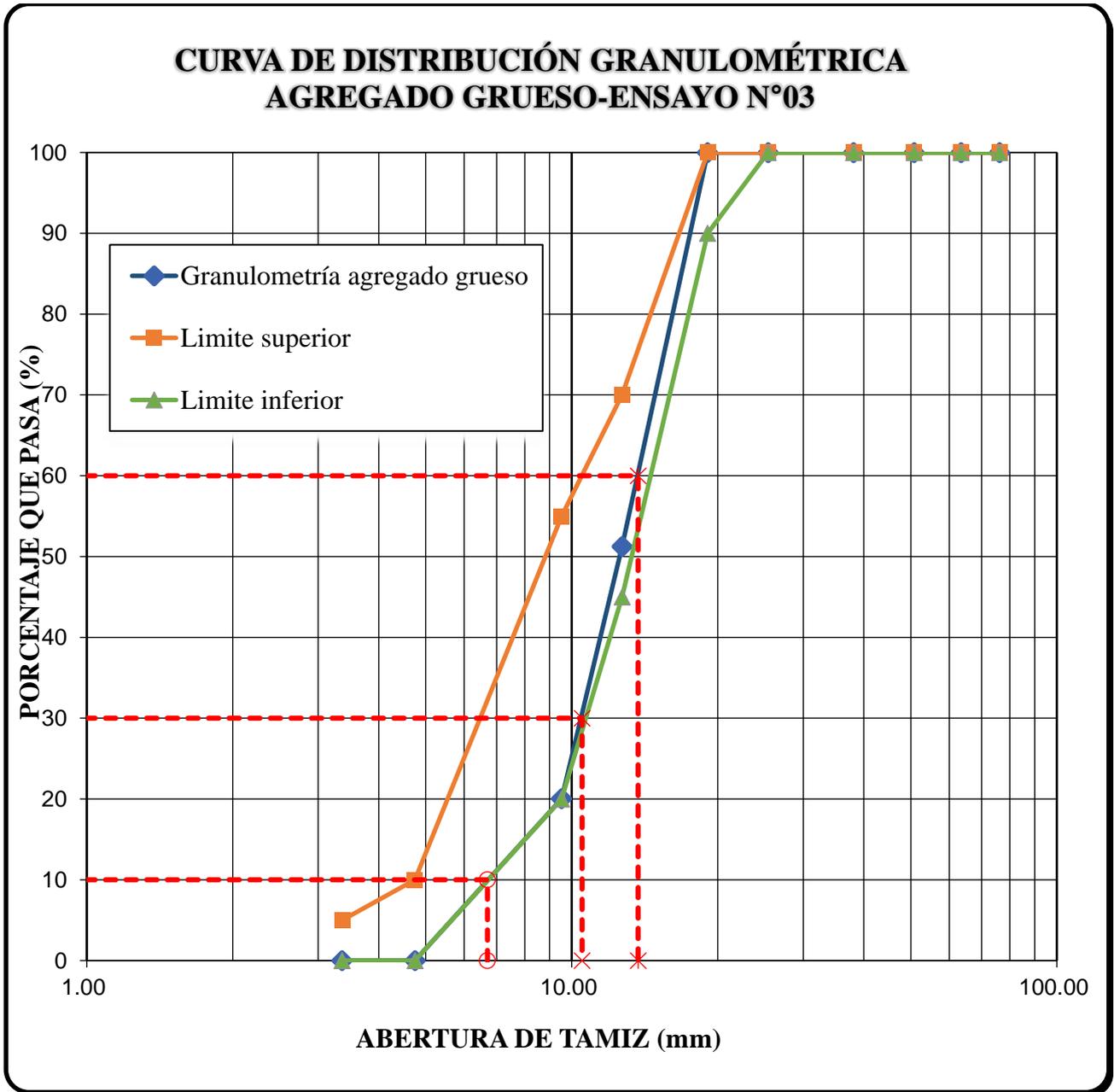


Tabla 41*Análisis granulométrico del agregado grueso – Ensayo N°03.*

Peso Muestra Seca Inicial =		5000.00			
Peso seco menor que 0.075 mm (Malla N°200) =		5000.00			
Malla		Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje que pasa
N°	Abertura (mm)	Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	(%)
1/2"	12.70	2438.00	48.76	48.76	51.24
3/8"	9.53	1560.00	31.20	79.96	20.04
N°4	4.75	1002.00	20.04	100.00	0.00
Cazoleta	--	0	0.00	100.00	0.00
TOTAL		5000.00			
MÓDULO DE FINURA =			6.80		

Figura 11

Curva de distribución granulométrica del agregado grueso – Ensayo N°03.



- **AGREGADO FINO**

Tabla 42

Análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N°01.

Peso Muestra Seca Inicial =		1500.00			
Peso seco menor que 0.075 mm (Malla N°200) =		15.00			
Malla		Peso retenido	Porcentaje retenido		Porcentaje que pasa
N°	Abertura (mm)	Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	(%)
N°4	4.75	132.00	8.80	8.80	91.20
N°8	3.36	270.00	18.00	26.80	73.20
N 16	1.18	253.00	16.87	43.67	56.33
N 30	0.60	239.00	15.93	59.60	40.40
N 50	0.30	252.00	16.80	76.40	23.60
N 100	0.15	242.00	16.13	92.53	7.47
N 200	0.075	97.00	6.47	99.00	1.00
Cazoleta	--	15	1.00	100.00	0.00
TOTAL		1500.0			
MÓDULO DE FINURA =		3.08			

Figura 12

Curva de distribución granulométrica del agregado fino – Ensayo N°01.

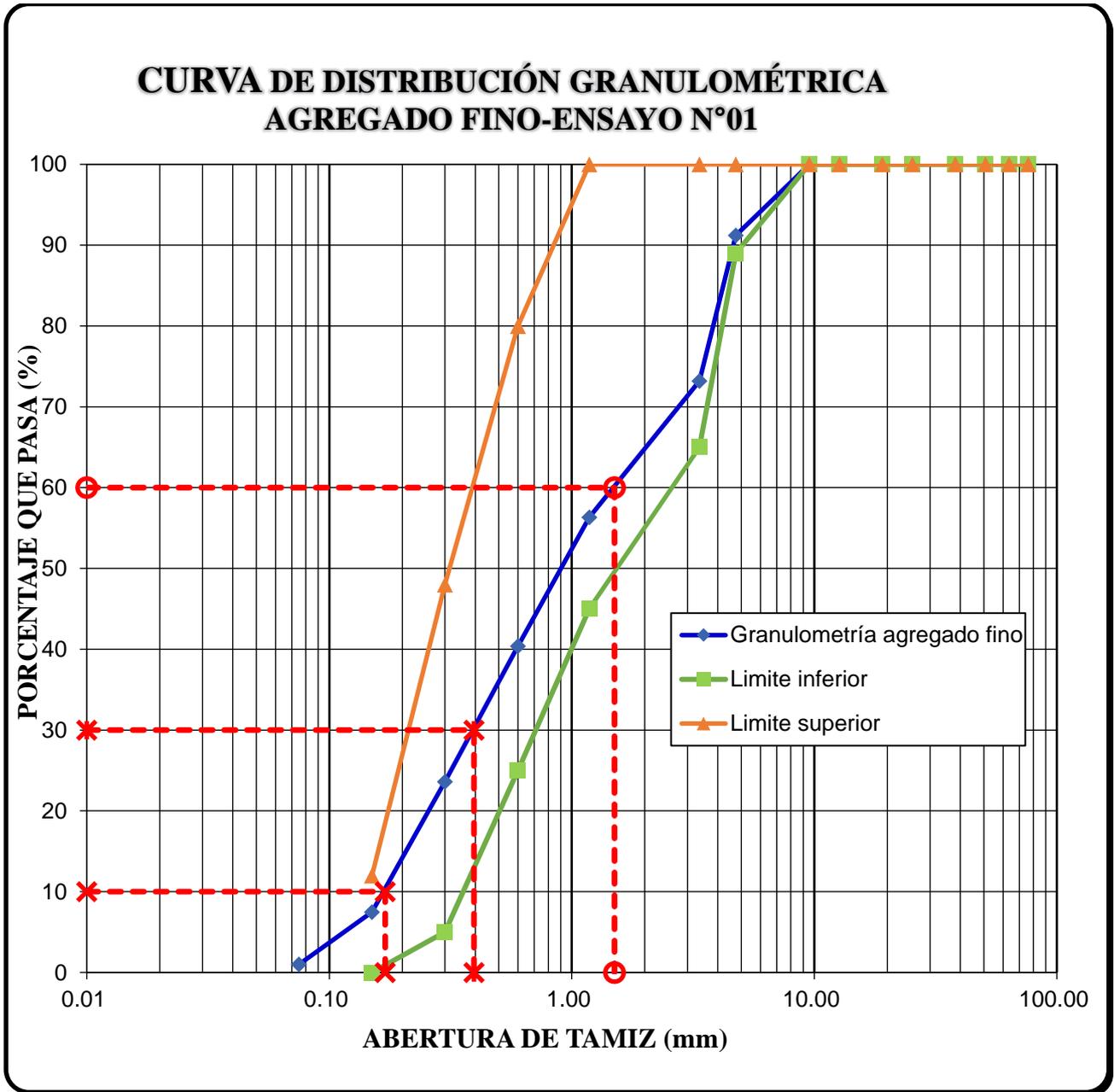


Tabla 43*Análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N°02.*

Peso Muestra Seca Inicial =		1500.00			
Peso seco menor que 0.075 mm (Malla N°200) =		12.00			
Malla		Peso retenido	Porcentaje retenido		Porcentaje que pasa
N°	Abertura (mm)	Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	(%)
N°4	4.75	112.00	7.47	7.47	92.53
N°8	3.36	295.00	19.67	27.13	72.87
N 16	1.18	265.00	17.67	44.80	55.20
N 30	0.60	246.00	16.40	61.20	38.80
N 50	0.30	232.00	15.47	76.67	23.33
N 100	0.15	253.00	16.87	93.53	6.47
N 200	0.075	85.00	5.67	99.20	0.80
Cazoleta	--	12	0.80	100.00	0.00
TOTAL		1500.0			
MÓDULO DE FINURA =		3.11			

Figura 13

Curva de distribución granulométrica del agregado fino – Ensayo N°02.

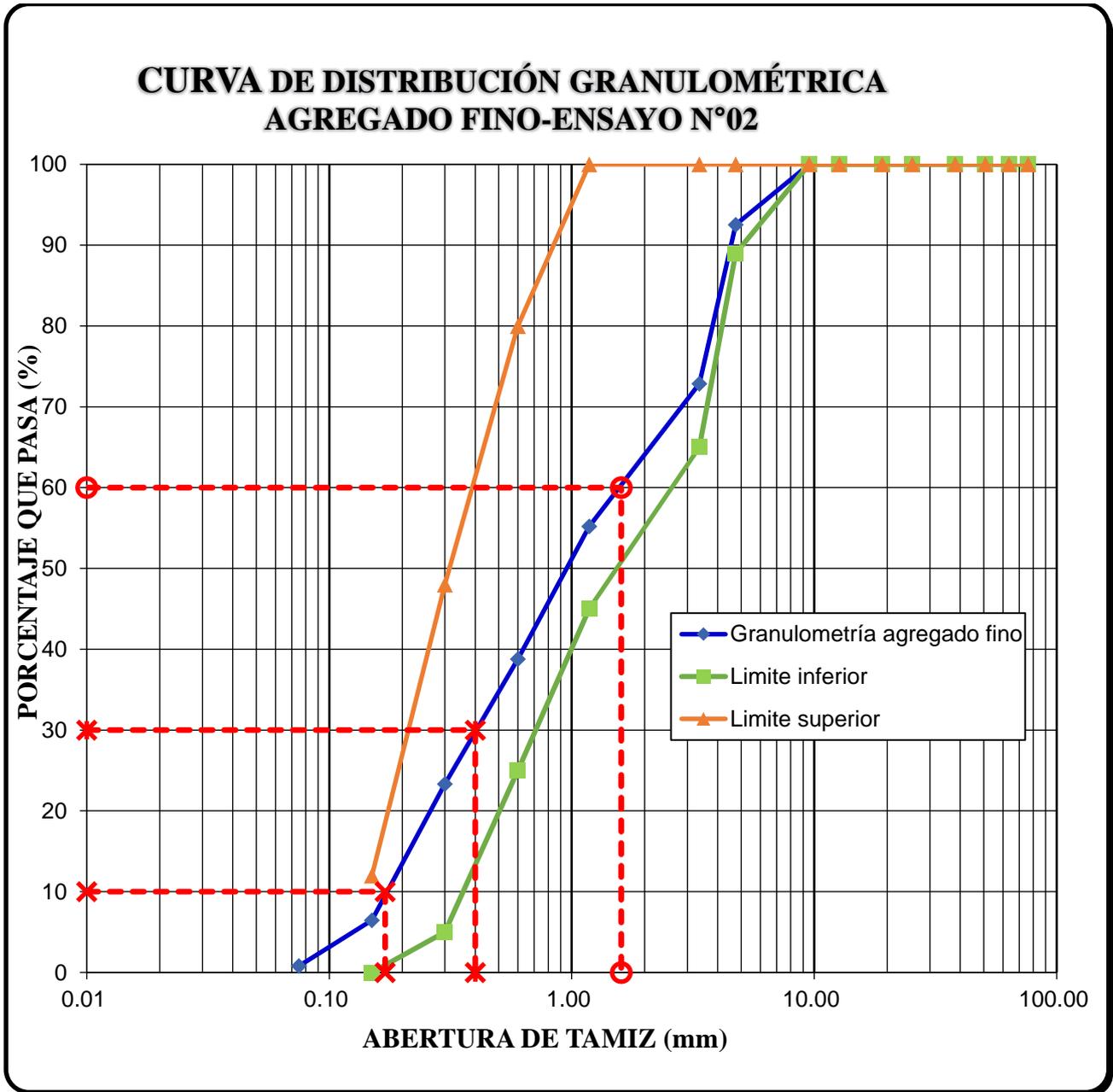
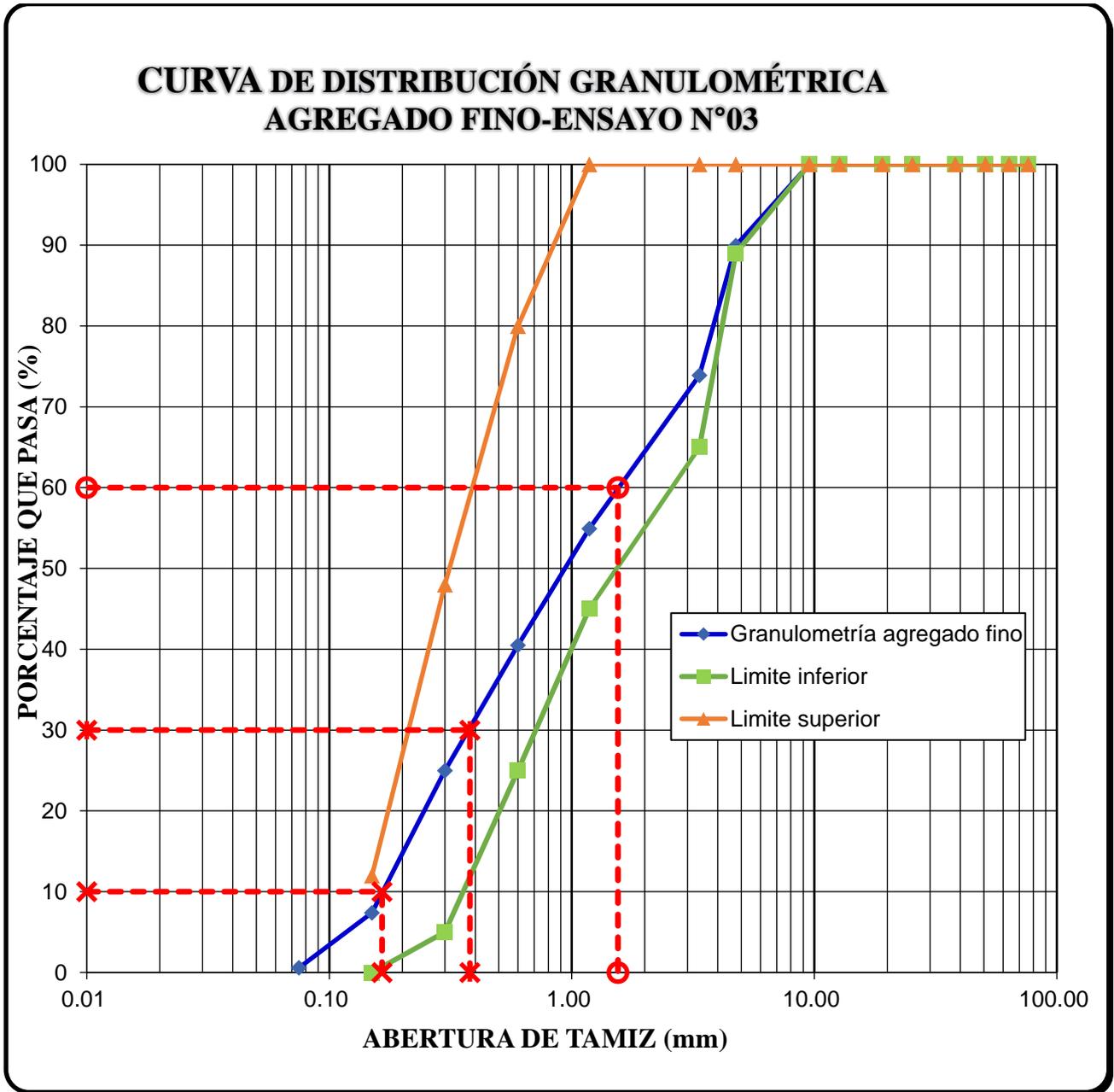


Tabla 44*Análisis granulométrico del agregado fino – Ensayo N°03.*

Peso Muestra Seca Inicial =		1500.00			
Peso seco menor que 0.075 mm (Malla N°200) =		8.70			
Malla		Peso retenido	Porcentaje retenido		Porcentaje que pasa
N°	Abertura (mm)	Parcial (gr)	Parcial (%)	Acumulado (%)	(%)
N°4	4.75	151.00	10.07	10.07	89.93
N°8	3.36	240.30	16.02	26.09	73.91
N 16	1.18	285.00	19.00	45.09	54.91
N 30	0.60	216.00	14.40	59.49	40.51
N 50	0.30	233.00	15.53	75.02	24.98
N 100	0.15	264.00	17.60	92.62	7.38
N 200	0.075	102.00	6.80	99.42	0.58
Cazoleta	--	8.7	0.58	100.00	0.00
TOTAL		1500.0			
MÓDULO DE FINURA =				3.08	

Figura 14

Curva de distribución granulométrica del agregado fino – Ensayo N°03.



ANEXOS VI: TABLAS ACI PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO
F'C=280 KG/CM²

Tabla 48

Volumen unitario de agua.

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

Tabla 49

Contenido de aire.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%

Tabla 50

Resistencia promedio requerida a la compresión cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar.

Resistencia especificada a la compresión $f'c$ (kg/cm^2)	Resistencia promedio requerida a la compresión $f'cr$ (kg/cm^2)
Menos de 210 kg/cm^2	$f'c+70$ kg/cm^2
De 210 a 350 kg/cm^2	$f'c+85$ kg/cm^2
Más de 350 kg/cm^2	$f'c+100$ kg/cm^2

Tabla 51

Consistencia, asentamiento y trabajabilidad de concreto.

Consistencia	Slump	Trabajabilidad	Método de compactación
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" a 4"	Trabajable	Vibración ligera chuseado
Fluida	>5"	Muy trabajable	Chuseado

Tabla 52

Relación agua-cemento (a/c) por resistencia.

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

Tabla 53*Módulo de finura de la combinación de agregados "mc".*

Tamaño máximo del agregado grueso	Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en sacos/metro cúbico indicados				
	5	6	7	8	9
3/8"	3.88	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.38	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.88	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.18	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.48	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.78	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.08	6.16	6.24	6.31	6.39

ANEXOS VII: DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

Tabla 54

Diseño de mezcla de concreto patrón

<u>Parámetros del concreto</u>		
Resistencia a la compresión especificada del concreto (f'_c)		280 kg/cm ²
Resistencia a la compresión requerida del concreto (f'_{cr})		365 kg/cm ²
<u>Características del cemento</u>		
Tipo de cemento	Pacasmayo Tipo I (ASTM C-150)	
Peso específico	3.09 g/cm ³	
<u>Características físicas de los agregados fino y grueso</u>		
Propiedades	Agregado fino	Agregado grueso
Tamaño Máximo Nominal	-	1/2"
Peso específico de masa	2.610 g/cm ³	2.620 g/cm ³
Peso específico saturado superficialmente seco	2.640 g/cm ³	2.650 g/cm ³
Peso específico aparente	2.700 g/cm ³	2.710 g/cm ³
Peso unitario suelto	1652 kg/m ³	1443 kg/m ³
Peso unitario compactado	1770 kg/m ³	1564 kg/m ³
Contenido de humedad (%)	4.940	0.310
Absorción (%)	1.300	1.300
Módulo de finura	3.080	6.790
Abrasión (%)	-	28.00
% que pasa malla N°200	3.500	0.400

Continúa...

Diseño de mezcla		
Asentamiento (Tabla N°51)	3"- 4" (Consistencia plástica)	
Volumen unitario de agua (Tabla N°48)	216 lt/m ³	
Contenido de aire (Tabla N°49)	2.5 %	
Relación Agua/Cemento (a/c) (Tabla N°52)	0.578	
Cantidad de cemento	373.70 kg/m ³	
Factor cemento	8.79 bls/m ³	
Volúmenes absolutos de la pasta	Cemento:	0.120939 m ³
	Agua:	0.216 m ³
	Aire:	0.025 m ³
	Σ de Vol.:	0.361939 m ³
Volumen absoluto de agregados	Vol.Abs.Ag.:	0.638061 m ³
Corrección de vacíos	Vacíos:	40.312
	Vacíos por corregir:	5.312
	Factor corrección:	0.106
Módulo de finura de la combinación de agregados	"mc" sin corregir por vacíos (Tabla N°53)	5.06
	"mc" corregido por vacíos	4.954
Porcentaje de los agregados en relación al volumen absoluto total de agregados	% Agregado fino:	49.49 %
	% Agregado grueso:	50.51 %
Volúmenes absolutos de agregados calculados por el módulo de finura	Pasta:	0.361939 m ³
	*Cemento:	0.120939 m ³
	*Agua:	0.216 m ³
	*Aire:	0.025 m ³
	Agregados:	0.638061 m ³
	*A. Fino:	0.315777 m ³
	*A. Grueso:	0.322285 m ³
Peso seco de los materiales de diseño por m³	*Cemento:	373.70 kg/m ³
	*Agua de diseño:	216.00 lt/m ³
	*A. Fino Seco:	824.18 kg/m ³
	*A. Grueso Seco:	844.39 kg/m ³

Continúa...

Corrección por Humedad de los agregados respecto a los valores de diseño

Humedad Superficial de los agregados	% Agregado fino:	3.64 %
	% Agregado grueso:	-0.99 %
Aporte de Humedad de los agregados	Agregado fino:	29.98
	Agregado grueso:	-8.38
	Total:	21.60
Materiales corregidos por Humedad por m³	*Cemento:	373.70 kg/m ³
	*Agua efectiva:	194.40 lt/m ³
	*A. Fino Húmedo:	864.88 kg/m ³
	*A. Grueso Húmedo:	846.98 kg/m ³

Proporciones de mezcla

Proporción en peso	*Cemento:	1.00
	*A. Fino Húmedo:	2.31
	*A. Grueso Húmedo:	2.27
	*Agua efectiva:	22.11 lt/bolsa
Proporción en volumen	*Cemento:	1.00
	*A. Fino Húmedo:	2.00
	*A. Grueso Húmedo:	2.35
	*Agua efectiva:	22.11 lt/bolsa
Proporción por tanda (0.020 m³)	*Cemento:	7.47 kg/tanda
	*A. Fino Húmedo:	3.89 kg/tanda
	*A. Grueso Húmedo:	17.30 kg/tanda
	*Agua efectiva:	16.94 lt/tanda

Tabla 55

Ajuste de diseño de mezcla de concreto patrón

Diseño de mezcla		
Asentamiento (Tabla N°51)	3"- 4" (Consistencia plástica)	
Volumen unitario de agua (Tabla N°48)	216 lt/m ³	
Contenido de aire (Tabla N°49)	2.5 %	
Relación Agua/Cemento (a/c) (Ajuste según Ley de Powers)	0.710	
Cantidad de cemento	304.23 kg/m ³	
Factor cemento	7.16 bls/m ³	
Volúmenes absolutos de la pasta	Cemento:	0.098456 m ³
	Agua:	0.216 m ³
	Aire:	0.025 m ³
	∑ de Vol.:	0.339456 m ³
Volumen absoluto de agregados	Vol.Abs.Ag.:	0.660544 m ³
Corrección de vacíos	Vacíos:	40.312
	Vacíos por corregir:	5.312
	Factor corrección:	0.106
Módulo de finura de la combinación de agregados	"mc" sin corregir por vacíos (Tabla N°53)	5.06
	"mc" corregido por vacíos	4.954
Porcentaje de los agregados en relación al volumen absoluto total de agregados	% Agregado fino:	49.49 %
	% Agregado grueso:	50.51 %
Volúmenes absolutos de agregados calculados por el módulo de finura	Pasta:	0.339456 m ³
	*Cemento:	0.098456 m ³
	*Agua:	0.216 m ³
	*Aire:	0.025 m ³
	Agregados:	0.660544 m ³
	*A. Fino:	0.326903 m ³
	*A. Grueso:	0.333641 m ³
	*Cemento:	304.23 kg/m ³
Peso seco de los materiales de diseño por m³	*Agua de diseño:	216.00 lt/m ³
	*A. Fino Seco:	853.22 kg/m ³
	*A. Grueso Seco:	874.14 kg/m ³

Continúa...

Corrección por Humedad de los agregados respecto a los valores de diseño

Humedad Superficial de los agregados	% Agregado fino:	3.64 %
	% Agregado grueso:	-0.99 %
Aporte de Humedad de los agregados	Agregado fino:	31.04
	Agregado grueso:	-8.68
	Total:	22.36
Materiales corregidos por Humedad por m³	*Cemento:	304.23 kg/m ³
	*Agua efectiva:	193.64 lt/m ³
	*A. Fino Húmedo:	895.35 kg/m ³
	*A. Grueso Húmedo:	876.83 kg/m ³

Proporciones de mezcla

Proporción en peso	*Cemento:	1.00
	*A. Fino Húmedo:	2.94
	*A. Grueso Húmedo:	2.88
	*Agua efectiva:	27.05 lt/bolsa
Proporción en volumen	*Cemento:	1.00
	*A. Fino Húmedo:	2.55
	*A. Grueso Húmedo:	2.99
	*Agua efectiva:	27.05 lt/bolsa
Proporción por tanda (0.020 m³)	*Cemento:	6.08 kg/tanda
	*A. Fino Húmedo:	3.87 kg/tanda
	*A. Grueso Húmedo:	17.91 kg/tanda
	*Agua efectiva:	17.54 lt/tanda

Tabla 56*Diseño de mezcla de concreto con adición de 0.25% de fibra de vidrio tipo E.*

<u>Características de la fibra de vidrio</u>		
Tipo de fibra de vidrio		Tipo E
Peso específico		2.38 g/cm ³
Porcentaje de adición		0.25 %

<u>Diseño de mezcla</u>		
Asentamiento (Tabla N°51)		3" - 4" (Consistencia plástica)
Volumen unitario de agua (Tabla N°48)		216 lt/m ³
Contenido de aire (Tabla N°49)		2.5 %
Relación Agua/Cemento (a/c) (Ajuste según Ley de Powers)		0.710
Cantidad de cemento		304.23 kg/m ³
Factor cemento		7.16 bls/m ³
Volúmenes absolutos de la pasta	Cemento:	0.098456 m ³
	Fibra de vidrio:	0.0025 m ³
	Agua:	0.216 m ³
	Aire:	0.025 m ³
	∑ de Vol.:	0.341956 m ³
Volumen absoluto de agregados	Vol.Abs.Ag.:	0.658044 m ³
Corrección de vacíos	Vacíos:	40.312
	Vacíos por corregir:	5.312
	Factor corrección:	0.106
Módulo de finura de la combinación de agregados	"mc" sin corregir por vacíos (Tabla N°53)	5.06
	"mc" corregido por vacíos	4.954
Porcentaje de los agregados en relación al volumen absoluto total de agregados	% Agregado fino:	49.49 %
	% Agregado grueso:	50.51 %

Continúa...

Volúmenes absolutos de agregados calculados por el módulo de finura	Pasta:	0.341956 m ³
	*Cemento:	0.098456 m ³
	*Fibra de vidrio:	0.0025 m ³
	*Agua:	0.216 m ³
	*Aire:	0.025 m ³
	Agregados:	0.658044 m ³
	*A. Fino:	0.325666 m ³
	*A. Grueso:	0.332378 m ³
Peso seco de los materiales de diseño por m³	*Cemento:	304.23 kg/m ³
	*Fibra de vidrio:	5.95 kg/m ³
	*Agua de diseño:	216.00 lt/m ³
	*A. Fino Seco:	849.99 kg/m ³
	*A. Grueso Seco:	870.83 kg/m ³
<u>Corrección por Humedad de los agregados respecto a los valores de diseño</u>		
Humedad Superficial de los agregados	% Agregado fino:	3.64 %
	% Agregado grueso:	-0.99 %
Aporte de Humedad de los agregados	Agregado fino:	30.92
	Agregado grueso:	-8.65
	Total:	22.27
Materiales corregidos por Humedad por m³	*Cemento:	304.23 kg/m ³
	*Fibra de vidrio:	5.95 kg/m ³
	*Agua efectiva:	193.73 lt/m ³
	*A. Fino Húmedo:	891.96 kg/m ³
	*A. Grueso Húmedo:	873.51 kg/m ³

Continúa...

Proporciones de mezcla

Proporción en peso	*Cemento:	1.00
	*Fibra de vidrio:	0.02
	*A. Fino Húmedo:	2.93
	*A. Grueso Húmedo:	2.87
	*Agua efectiva:	27.06 lt/bolsa
Proporción en volumen	*Cemento:	1.00
	*A. Fino Húmedo:	2.54
	*A. Grueso Húmedo:	2.98
	*Agua efectiva:	27.06 lt/bolsa
Proporción por tanda (0.020 m³)	*Cemento:	6.08 kg/tanda
	*Fibra de vidrio:	0.12 kg/tanda
	*A. Fino Húmedo:	3.87 kg/tanda
	*A. Grueso Húmedo:	17.84 kg/tanda
	*Agua efectiva:	17.47 lt/tanda

Tabla 57*Diseño de mezcla de concreto con adición de 0.50% de fibra de vidrio tipo E.*

<u>Características de la fibra de vidrio</u>		
Tipo de fibra de vidrio		Tipo E
Peso específico		2.38 g/cm ³
Porcentaje de adición		0.50 %

<u>Diseño de mezcla</u>		
Asentamiento (Tabla N°51)		3" - 4" (Consistencia plástica)
Volumen unitario de agua (Tabla N°48)		216 lt/m ³
Contenido de aire (Tabla N°49)		2.5 %
Relación Agua/Cemento (a/c) (Ajuste según Ley de Powers)		0.710
Cantidad de cemento		304.23 kg/m ³
Factor cemento		7.16 bls/m ³
Volúmenes absolutos de la pasta	Cemento:	0.098456 m ³
	Fibra de vidrio:	0.0050 m ³
	Agua:	0.216 m ³
	Aire:	0.025 m ³
	Σ de Vol.:	0.344456 m ³
Volumen absoluto de agregados	Vol.Abs.Ag.:	0.655544 m ³
Corrección de vacíos	Vacíos:	40.312
	Vacíos por corregir:	5.312
	Factor corrección:	0.106
Módulo de finura de la combinación de agregados	"mc" sin corregir por vacíos (Tabla N°53)	5.06
	"mc" corregido por vacíos	4.954
Porcentaje de los agregados en relación al volumen absoluto total de agregados	% Agregado fino:	49.49 %
	% Agregado grueso:	50.51 %

Continúa...

Volúmenes absolutos de agregados calculados por el módulo de finura	Pasta:	0.344456 m ³
	*Cemento:	0.098456 m ³
	*Fibra de vidrio:	0.0050 m ³
	*Agua:	0.216 m ³
	*Aire:	0.025 m ³
	Agregados:	0.655544 m ³
	*A. Fino:	0.324429 m ³
	*A. Grueso:	0.331115 m ³
Peso seco de los materiales de diseño por m³	*Cemento:	304.23 kg/m ³
	*Fibra de vidrio:	11.90 kg/m ³
	*Agua de diseño:	216.00 lt/m ³
	*A. Fino Seco:	846.76 kg/m ³
	*A. Grueso Seco:	867.52 kg/m ³
<u>Corrección por Humedad de los agregados respecto a los valores de diseño</u>		
Humedad Superficial de los agregados	% Agregado fino:	3.64 %
	% Agregado grueso:	-0.99 %
Aporte de Humedad de los agregados	Agregado fino:	30.80
	Agregado grueso:	-8.61
	Total:	22.19
Materiales corregidos por Humedad por m³	*Cemento:	304.23 kg/m ³
	*Fibra de vidrio:	11.90 kg/m ³
	*Agua efectiva:	193.81 lt/m ³
	*A. Fino Húmedo:	888.57 kg/m ³
	*A. Grueso Húmedo:	870.18 kg/m ³

Continúa...

Proporciones de mezcla

Proporción en peso	*Cemento:	1.00
	*Fibra de vidrio:	0.04
	*A. Fino Húmedo:	2.92
	*A. Grueso Húmedo:	2.86
	*Agua efectiva:	27.07 lt/bolsa
Proporción en volumen	*Cemento:	1.00
	*A. Fino Húmedo:	2.53
	*A. Grueso Húmedo:	2.97
	*Agua efectiva:	27.07 lt/bolsa
	Proporción por tanda (0.020 m³)	*Cemento:
*Fibra de vidrio:		0.24 kg/tanda
*A. Fino Húmedo:		3.88 kg/tanda
*A. Grueso Húmedo:		17.77 kg/tanda
*Agua efectiva:		17.40 lt/tanda

Tabla 58*Diseño de mezcla de concreto con adición de 0.75% de fibra de vidrio tipo E.*

<u>Características de la fibra de vidrio</u>		
Tipo de fibra de vidrio		Tipo E
Peso específico		2.38 g/cm ³
Porcentaje de adición		0.75 %

<u>Diseño de mezcla</u>		
Asentamiento (Tabla N°51)		3" - 4" (Consistencia plástica)
Volumen unitario de agua (Tabla N°48)		216 lt/m ³
Contenido de aire (Tabla N°49)		2.5 %
Relación Agua/Cemento (a/c) (Ajuste según Ley de Powers)		0.710
Cantidad de cemento		304.23 kg/m ³
Factor cemento		7.16 bls/m ³
Volúmenes absolutos de la pasta	Cemento:	0.098456 m ³
	Fibra de vidrio:	0.0075 m ³
	Agua:	0.216 m ³
	Aire:	0.025 m ³
	∑ de Vol.:	0.346956 m ³
Volumen absoluto de agregados	Vol.Abs.Ag.:	0.653044 m ³
Corrección de vacíos	Vacíos:	40.312
	Vacíos por corregir:	5.312
	Factor corrección:	0.106
Módulo de finura de la combinación de agregados	"mc" sin corregir por vacíos (Tabla N°53)	5.06
	"mc" corregido por vacíos	4.954
Porcentaje de los agregados en relación al volumen absoluto total de agregados	% Agregado fino:	49.49 %
	% Agregado grueso:	50.51 %

Continúa...

Volúmenes absolutos de agregados calculados por el módulo de finura	Pasta:	0.346956 m ³
	*Cemento:	0.098456 m ³
	*Fibra de vidrio:	0.0075 m ³
	*Agua:	0.216 m ³
	*Aire:	0.025 m ³
	Agregados:	0.653044 m ³
	*A. Fino:	0.323191 m ³
	*A. Grueso:	0.329852 m ³
Peso seco de los materiales de diseño por m³	*Cemento:	304.23 kg/m ³
	*Fibra de vidrio:	17.85 kg/m ³
	*Agua de diseño:	216.00 lt/m ³
	*A. Fino Seco:	843.53 kg/m ³
	*A. Grueso Seco:	864.21 kg/m ³
<u>Corrección por Humedad de los agregados respecto a los valores de diseño</u>		
Humedad Superficial de los agregados	% Agregado fino:	3.64 %
	% Agregado grueso:	-0.99 %
Aporte de Humedad de los agregados	Agregado fino:	30.69
	Agregado grueso:	-8.58
	Total:	22.11
Materiales corregidos por Humedad por m³	*Cemento:	304.23 kg/m ³
	*Fibra de vidrio:	17.85 kg/m ³
	*Agua efectiva:	193.89 lt/m ³
	*A. Fino Húmedo:	885.18 kg/m ³
	*A. Grueso Húmedo:	866.86 kg/m ³

Continúa...

Proporciones de mezcla

Proporción en peso	*Cemento:	1.00
	*Fibra de vidrio:	0.06
	*A. Fino Húmedo:	2.91
	*A. Grueso Húmedo:	2.85
	*Agua efectiva:	27.09 lt/bolsa
Proporción en volumen	*Cemento:	1.00
	*A. Fino Húmedo:	2.52
	*A. Grueso Húmedo:	2.95
	*Agua efectiva:	27.09 lt/bolsa
Proporción por tanda (0.020 m³)	*Cemento:	6.08 kg/tanda
	*Fibra de vidrio:	0.36 kg/tanda
	*A. Fino Húmedo:	3.88 kg/tanda
	*A. Grueso Húmedo:	17.70 kg/tanda
	*Agua efectiva:	17.34 lt/tanda

ANEXOS VIII: ENSAYOS DE ESPECIMENES

1. Peso Unitario del Concreto

Tabla 59

Peso Unitario del Concreto Fresco.

Tanda	Peso Unitario del concreto fresco (kg/m ³)			
	Tipo de muestra			
	Patrón	0.25% Fibra de Vidrio	0.50% Fibra de Vidrio	0.75% Fibra de Vidrio
N°01	2387.39	2329.96	2278.19	2258.05
N°02	2399.15	2351.16	2286.88	2247.16
N°03	2358.17	2347.15	2282.34	2254.23
N°04	2387.11	2361.05	2292.90	2249.67
N°05	2360.19	2354.48	2290.12	2252.96
N°06	2359.76	2340.50	2287.63	2250.06
Promedio	2375.30	2347.38	2286.34	2252.02

Tabla 60

Peso Unitario del Concreto Endurecido.

Tipo de muestra	Peso Unitario del concreto endurecido (kg/m ³)					
	Edad de ensayo					
	07 días		14 días		28 días	
	P.U.	P.U. Promedio	P.U.	P.U. Promedio	P.U.	P.U. Promedio
Patrón	2369.18		2369.58		2395.23	
	2308.25		2374.23		2357.39	
	2342.54	2342.08	2379.83	2370.86	2382.34	2376.27
	2311.42		2363.53		2370.64	
	2346.12		2369.22		2388.14	
	2374.97		2368.74		2363.85	
0.25% de adición de Fibra de Vidrio	2306.70		2337.85		2347.55	
	2292.38		2357.76		2355.72	
	2310.45	2310.76	2327.06	2351.54	2348.99	2354.19
	2341.75		2374.62		2374.68	
	2295.23		2353.29		2365.46	
	2318.02		2358.66		2332.73	
0.50% de adición de Fibra de Vidrio	2269.94		2271.18		2296.82	
	2313.02		2310.63		2317.75	
	2272.32	2281.43	2306.37	2288.94	2290.28	2293.34
	2300.06		2264.84		2296.23	
	2258.26		2286.78		2278.96	
	2274.95		2293.81		2280.01	
0.75% de adición de Fibra de Vidrio	2261.31		2259.83		2265.74	
	2215.70		2260.07		2237.36	
	2248.88	2246.16	2205.16	2253.26	2266.34	2257.26
	2242.40		2256.41		2273.32	
	2248.90		2260.79		2242.60	
	2259.76		2277.29		2258.19	

2. Ensayos a Compresión

Tabla 61

Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos patrón a los 07 días.

Tipo de muestra:	Patrón (0% Fibra de Vidrio)			Edad de ensayo:			07 días
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la compresión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Falla de rotura	Tipo 5	Tipo 5	Tipo 2	Tipo 5	Tipo 5	Tipo 5	-
Altura (cm)	30.33	30.32	30.33	30.32	30.32	30.32	30.32
Diámetro(cm)	15.07	15.22	15.13	15.20	15.17	15.04	15.14
Peso (Kg)	12.817	12.733	12.774	12.717	12.857	12.793	12.78
Carga máx. rotura (kN)	476.16	492.33	488.52	505.64	491.58	483.84	489.68
Resistencia obtenida (kg/cm²)	272.21	275.94	277.07	284.14	277.34	277.71	277.40
Porcentaje obtenido (%)	97.22	98.55	98.95	101.48	99.05	99.18	99.07
Desviación estándar (σ)	3.87						

Tabla 62

Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.25% de fibra de vidrio tipo E a los 07 días.

Tipo de muestra:	0.25% Fibra de Vidrio			Edad de ensayo:			07 días
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la compresión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Falla de rotura	Tipo 2	Tipo 5	Tipo 5	Tipo 2	Tipo 5	Tipo 2	-
Altura (cm)	30.02	30.41	30.34	30.39	30.29	30.41	30.31
Diámetro(cm)	15.13	15.14	15.08	15.05	15.10	15.08	15.10
Peso (kg)	12.45	12.55	12.52	12.66	12.45	12.59	12.54
Carga máx. rotura (kN)	436.45	429.06	426.29	431.36	440.94	445.08	434.86
Resistencia obtenida (kg/cm²)	247.54	243.02	243.38	247.26	251.08	254.11	247.73
Porcentaje obtenido (%)	88.41	86.79	86.92	88.31	89.67	90.75	88.48
Desviación estándar (σ)	4.32						

Tabla 63

Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.50% de fibra de vidrio tipo E a los 07 días.

Tipo de muestra:	0.50% Fibra de Vidrio			Edad de ensayo:	07 días		
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la compresión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Falla de rotura	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	-
Altura (cm)	30.20	30.19	30.23	30.19	30.19	30.29	30.22
Diámetro(cm)	15.09	15.00	15.05	15.03	15.15	15.10	15.07
Peso (kg)	12.26	12.34	12.22	12.32	12.29	12.34	12.30
Carga máx. rotura (kN)	314.24	330.89	309.87	315.52	325.23	320.34	319.35
Resistencia obtenida (kg/cm²)	179.17	190.93	177.62	181.34	183.97	182.41	182.57
Porcentaje obtenido (%)	63.99	68.19	63.44	64.76	65.70	65.15	65.20
Desviación estándar (σ)	4.68						

Tabla 64

Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.75% de fibra de vidrio tipo E a los 07 días.

Tipo de muestra:	0.75% Fibra de Vidrio			Edad de ensayo:	07 días		
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la compresión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Falla de rotura	Tipo 2	Tipo 5	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	-
Altura (cm)	30.15	30.48	30.10	30.02	29.99	30.00	30.12
Diámetro(cm)	14.97	15.06	15.08	14.99	15.05	15.05	15.03
Peso (kg)	12.00	12.03	12.09	11.88	11.998	12.06	12.01
Carga máx. rotura (kN)	258.53	245.20	244.52	258.23	260.50	267.96	255.82
Resistencia obtenida (kg/cm²)	149.78	140.36	139.60	149.21	149.32	153.60	146.98
Porcentaje obtenido (%)	53.49	50.13	49.86	53.29	53.33	54.86	52.49
Desviación estándar (σ)	5.66						

Tabla 65*Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos patrón a los 14 días.*

Tipo de muestra:	Patrón (0% Fibra de Vidrio)		Edad de ensayo:		14 días		
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la compresión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Falla de rotura	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 5	Tipo 5	Tipo 5	-
Altura (cm)	30.15	30.10	30.06	30.45	30.18	30.30	30.21
Diámetro(cm)	15.08	15.06	15.07	15.06	15.05	15.11	15.07
Peso (kg)	12.76	12.73	12.76	12.82	12.72	12.87	12.78
Carga máx. rotura (kN)	596.75	598.19	597.62	584.13	586.27	594.26	592.87
Resistencia obtenida (kg/cm²)	340.70	342.43	341.65	334.38	336.05	337.93	338.86
Porcentaje obtenido (%)	121.68	122.30	122.02	119.42	120.02	120.69	121.02
Desviación estándar (σ)	3.25						

Tabla 66*Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.25% de fibra de vidrio tipo E a los 14 días.*

Tipo de muestra:	0.25% Fibra de Vidrio		Edad de ensayo:		14 días		
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la compresión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Falla de rotura	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 5	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	-
Altura (cm)	30.24	30.27	30.34	30.39	30.34	30.26	30.31
Diámetro(cm)	15.07	15.07	15.08	14.91	14.96	15.04	15.02
Peso (kg)	12.61	12.73	12.61	12.60	12.55	12.68	12.63
Carga máx. rotura (kN)	514.82	515.45	508.21	512.23	520.42	509.74	513.48
Resistencia obtenida (kg/cm²)	294.31	294.67	290.15	299.15	301.91	292.57	295.46
Porcentaje obtenido (%)	105.11	105.24	103.63	106.84	107.83	104.49	105.52
Desviación estándar (σ)	4.33						

Tabla 67

Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.50% de fibra de vidrio tipo E a los 14 días.

Tipo de muestra:	0.50% Fibra de Vidrio			Edad de ensayo:	14 días		
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la compresión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Falla de rotura	Tipo 2	Tipo 5	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 3	-
Altura (cm)	30.27	30.28	30.37	30.08	30.12	30.22	30.22
Diámetro(cm)	15.05	15.04	15.14	15.10	15.14	15.11	15.10
Peso (kg)	12.23	12.43	12.61	12.20	12.40	12.43	12.38
Carga máx. rotura (kN)	397.72	374.5	418.93	398.25	416.68	419.43	404.25
Resistencia obtenida (kg/cm²)	227.97	214.95	237.29	226.77	236.01	238.51	230.25
Porcentaje obtenido (%)	81.42	76.77	84.75	80.99	84.29	85.18	82.23
Desviación estándar (σ)	8.97						

Tabla 68

Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.75% de fibra de vidrio tipo E a los 14 días.

Tipo de muestra:	0.75% Fibra de Vidrio			Edad de ensayo:	14 días		
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la compresión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Falla de rotura	Tipo 5	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 5	-
Altura (cm)	30.22	30.13	30.28	30.31	30.35	30.09	30.23
Diámetro(cm)	14.97	15.06	15.07	15.12	15.04	15.05	15.05
Peso (kg)	12.02	12.13	11.91	12.28	12.19	12.19	12.12
Carga máx. rotura (kN)	308.61	307.36	308.58	311.94	291.16	293.05	303.45
Resistencia obtenida (kg/cm²)	178.79	175.95	176.41	177.15	167.12	167.98	173.90
Porcentaje obtenido (%)	63.85	62.84	63.00	63.27	59.69	59.99	62.11
Desviación estándar (σ)	5.02						

Tabla 69*Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos patrón a los 28 días.*

Tipo de muestra:	Patrón (0% Fibra de Vidrio)		Edad de ensayo:		28 días		
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la compresión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Falla de rotura	Tipo 5	Tipo 5	Tipo 5	Tipo 5	Tipo 3	Tipo 3	-
Altura (cm)	30.04	30.05	30.29	30.35	30.29	30.13	30.19
Diámetro(cm)	15.05	15.15	15.04	15.15	15.01	15.14	15.09
Peso (kg)	12.80	12.77	12.82	12.97	12.80	12.82	12.83
Carga máx. rotura (kN)	642.83	644.9	640.85	648.85	647.35	649.39	645.70
Resistencia obtenida (kg/cm²)	368.47	364.80	367.83	367.03	373.04	367.82	368.17
Porcentaje obtenido (%)	131.60	130.29	131.37	131.08	133.23	131.36	131.49
Desviación estándar (σ)	2.71						

Tabla 70*Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.25% de fibra de vidrio tipo E a los 28 días.*

Tipo de muestra:	0.25% Fibra de Vidrio		Edad de ensayo:		28 días		
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la compresión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Falla de rotura	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	-
Altura (cm)	30.33	30.47	30.31	30.3	30.29	30.21	30.32
Diámetro(cm)	15.07	15.08	15.10	15.05	15.07	15.10	15.08
Peso (kg)	12.70	12.82	12.75	12.80	12.78	12.62	12.75
Carga máx. rotura (kN)	569.53	559.99	574.2	581.99	571.67	575.27	572.11
Resistencia obtenida (kg/cm²)	325.59	319.71	326.96	333.60	326.81	327.57	326.71
Porcentaje obtenido (%)	116.28	114.18	116.77	119.14	116.72	116.99	116.68
Desviación estándar (σ)	4.44						

Tabla 71

Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.50% de fibra de vidrio tipo E a los 28 días.

Tipo de muestra:	0.50% Fibra de Vidrio			Edad de ensayo:	28 días		
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la compresión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Falla de rotura	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	-
Altura (cm)	30.17	30.16	30.31	29.73	30.29	30.10	30.13
Diámetro(cm)	15.07	14.98	15.02	15.14	15.05	15.02	15.05
Peso (kg)	12.36	12.32	12.30	12.29	12.28	12.16	12.29
Carga máx. rotura (kN)	420.03	422.83	441.32	423.97	422.18	430.26	426.77
Resistencia obtenida (kg/cm²)	240.12	244.64	253.98	240.14	242.00	247.61	244.75
Porcentaje obtenido (%)	85.76	87.37	90.71	85.76	86.43	88.43	87.41
Desviación estándar (σ)	5.36						

Tabla 72

Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos con 0.75% de fibra de vidrio tipo E a los 28 días.

Tipo de muestra:	0.75% Fibra de Vidrio			Edad de ensayo:	28 días		
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la compresión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Falla de rotura	Tipo 3	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 2	Tipo 3	-
Altura (cm)	30.06	30.04	30.10	30.03	30.01	30.06	30.05
Diámetro(cm)	15.04	15.09	15.09	15.01	15.13	15.09	15.08
Peso (kg)	12.10	12.02	12.20	12.08	12.10	12.14	12.11
Carga máx. rotura (kN)	341.72	327.18	325.61	333.08	347.58	333.85	334.84
Resistencia obtenida (kg/cm²)	196.14	186.55	185.65	191.94	197.13	190.35	191.29
Porcentaje obtenido (%)	70.05	66.63	66.30	68.55	70.40	67.98	68.32
Desviación estándar (σ)	4.76						

3. Ensayos a Flexión

Tabla 73

Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos patrón a los 07 días.

Tipo de muestra:	Patrón (0% Fibra de Vidrio)			Edad de ensayo:			07 días
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la flexión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Longitud promedio (cm)	50.10	50.02	50.13	50.09	50.06	50.08	50.08
Ancho promedio (cm)	14.88	14.99	15.05	15.24	15.12	15.02	15.05
Profundidad promedio (cm)	15.05	15.21	15.13	15.06	15.14	15.06	15.11
Longitud entre apoyos promedio (cm)	45.1	45.02	45.13	45.09	45.06	45.08	45.08
Peso (kg)	27.77	27.59	27.41	27.56	27.58	27.67	27.60
Carga máx. rotura (kN)	2360	2400	2340	2410	2390	2380	2380
Módulo de rotura (kg/cm²)	31.58	31.16	30.65	31.44	31.07	31.49	31.23
Desviación estándar (σ)	0.35						

Tabla 74

Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.25% de fibra de vidrio tipo E a los 07 días.

Tipo de muestra:	0.25% Fibra de Vidrio			Edad de ensayo:			07 días
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la flexión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Longitud promedio (cm)	49.98	50.01	50.35	50.18	50.10	50.14	50.13
Ancho promedio (cm)	15.21	15.11	15.07	15.24	15.18	15.09	15.15
Profundidad promedio (cm)	15.29	15.31	15.00	15.03	15.17	15.16	15.16
Longitud entre apoyos promedio (cm)	44.98	45.01	45.35	45.18	45.10	45.14	45.13
Peso (kg)	27.02	26.44	26.49	27.13	26.79	27.08	26.83
Carga máx. rotura (kN)	2840	2840	2900	2860	2880	2840	2860
Módulo de rotura (kg/cm²)	35.92	36.09	38.79	37.53	37.18	36.97	37.08
Desviación estándar (σ)	1.05						

Tabla 75

Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.50% de fibra de vidrio tipo E a los 07 días.

Tipo de muestra:	0.50% Fibra de Vidrio			Edad de ensayo:			07 días
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la flexión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Longitud promedio (cm)	50.06	49.98	50.05	50.02	50.00	50.01	50.02
Ancho promedio (cm)	15.33	15.39	15.31	15.31	15.35	15.35	15.34
Profundidad promedio (cm)	15.11	15.18	15.21	15.21	15.20	15.16	15.18
Longitud entre apoyos promedio (cm)	45.06	44.98	45.05	45.02	45.00	45.01	45.02
Peso (kg)	25.84	26.29	26.66	27.21	26.75	26.53	26.55
Carga máx. rotura (kN)	2580	2560	2800	2680	2620	2640	2646.67
Módulo de rotura (kg/cm²)	33.22	32.47	35.61	34.06	33.24	33.68	33.71
Desviación estándar (σ)	1.07						

Tabla 76

Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.75% de fibra de vidrio tipo E a los 07 días.

Tipo de muestra:	0.75% Fibra de Vidrio			Edad de ensayo:			07 días
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la flexión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Longitud promedio (cm)	50.10	50.03	50.02	50.01	50.02	50.02	50.03
Ancho promedio (cm)	15.29	15.14	15.15	15.05	15.10	15.15	15.15
Profundidad promedio (cm)	15.17	15.12	15.10	15.22	15.17	15.20	15.16
Longitud entre apoyos promedio (cm)	45.10	45.03	45.02	45.01	45.02	45.02	45.03
Peso (kg)	26.34	26.91	26.08	26.25	26.58	26.30	26.41
Carga máx. rotura (kN)	2360	2300	2340	2340	2350	2320	2335
Módulo de rotura (kg/cm²)	30.25	29.92	30.5	30.21	30.45	29.84	30.20
Desviación estándar (σ)	0.27						

Tabla 77*Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos patrón a los 14 días.*

Tipo de muestra:	Patrón (0% Fibra de Vidrio)		Edad de ensayo:				14 días
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la flexión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Longitud promedio (cm)	50.23	50.08	50.23	50.11	50.10	50.11	50.14
Ancho promedio (cm)	15.31	14.85	15.35	15.45	15.15	15.10	15.20
Profundidad promedio (cm)	15.19	14.91	15.12	15.15	15.03	15.17	15.10
Longitud entre apoyos promedio (cm)	45.23	45.08	45.23	45.11	45.1	45.11	45.14
Peso (kg)	28.52	27.37	27.94	27.52	27.45	28.02	27.80
Carga máx. rotura (kN)	2760	2830	2790	2800	2820	2800	2800
Módulo de rotura (kg/cm²)	35.34	38.64	35.96	35.62	37.16	36.35	36.51
Desviación estándar (σ)	1.22						

Tabla 78*Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.25% de fibra de vidrio tipo E a los 14 días.*

Tipo de muestra:	0.25% Fibra de Vidrio		Edad de ensayo:				14 días
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la flexión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Longitud promedio (cm)	50.22	50.48	50.17	50.12	50.30	50.21	50.25
Ancho promedio (cm)	15.19	15.21	15.18	15.05	15.13	15.20	15.16
Profundidad promedio (cm)	15.13	15.11	15.16	14.88	15.00	15.01	15.05
Longitud entre apoyos promedio (cm)	45.22	45.48	45.17	45.12	45.30	45.21	45.25
Peso (kg)	26.16	27.37	27.94	27.52	27.45	26.84	27.21
Carga máx. rotura (kN)	3020	3080	3120	3080	3030	3120	3075
Módulo de rotura (kg/cm²)	39.27	40.34	40.40	41.70	40.32	41.19	40.54
Desviación estándar (σ)	0.84						

Tabla 79

Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.50% de fibra de vidrio tipo E a los 14 días.

Tipo de muestra:	0.50% Fibra de Vidrio			Edad de ensayo:			14 días
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la flexión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Longitud promedio (cm)	50.08	50.13	50.10	50.22	50.18	50.20	50.15
Ancho promedio (cm)	15.05	15.14	15.07	15.07	15.11	15.11	15.09
Profundidad promedio (cm)	15.02	15.02	15.16	15.43	15.23	15.23	15.18
Longitud entre apoyos promedio (cm)	45.08	45.13	45.10	45.22	45.18	45.20	45.15
Peso (kg)	26.10	25.85	26.73	26.46	26.16	26.28	26.26
Carga máx. rotura (kN)	3000	3000	3060	3020	3060	3040	3030
Módulo de rotura (kg/cm²)	39.83	39.64	39.85	38.06	39.45	39.21	39.34
Desviación estándar (σ)	0.67						

Tabla 80

Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.75% de fibra de vidrio tipo E a los 14 días.

Tipo de muestra:	0.75% Fibra de Vidrio			Edad de ensayo:			14 días
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la flexión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Longitud promedio (cm)	50.18	50.19	50.20	50.36	50.28	50.32	50.26
Ancho promedio (cm)	15.13	15.11	15.11	15.28	15.20	15.11	15.16
Profundidad promedio (cm)	14.95	15.30	15.07	15.33	15.32	15.14	15.19
Longitud entre apoyos promedio (cm)	45.18	45.19	45.20	45.36	45.28	45.32	45.26
Peso (kg)	26.64	26.43	26.59	26.90	26.67	26.77	26.67
Carga máx. rotura (kN)	2720	2760	2740	2800	2780	2640	2740
Módulo de rotura (kg/cm²)	36.34	35.26	36.09	35.37	35.28	34.54	35.48
Desviación estándar (σ)	0.65						

Tabla 81*Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos patrón a los 28 días.*

Tipo de muestra:	Patrón (0% Fibra de Vidrio)			Edad de ensayo:			28 días
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la flexión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Longitud promedio (cm)	49.97	50.05	50.01	50.13	50.09	50.11	50.06
Ancho promedio (cm)	15.27	14.94	15.33	15.09	15.02	15.14	15.13
Profundidad promedio (cm)	15.13	15.17	15.04	15.24	15.21	15.19	15.16
Longitud entre apoyos promedio (cm)	44.97	45.05	45.01	45.13	45.09	45.11	45.06
Peso (kg)	27.40	27.60	27.51	28.04	27.82	27.72	27.68
Carga máx. rotura (kN)	3500	3500	3400	3440	3490	3430	3460
Módulo de rotura (kg/cm²)	45.03	45.86	44.13	44.3	45.29	44.29	44.82
Desviación estándar (σ)	0.69						

Tabla 82*Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.25% de fibra de vidrio tipo E a los 28 días*

Tipo de muestra:	0.25% Fibra de Vidrio			Edad de ensayo:			28 días
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la flexión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Longitud promedio (cm)	50.13	50.00	50.01	50.08	50.04	50.06	50.05
Ancho promedio (cm)	15.07	15.11	15.04	15.02	15.07	15.08	15.07
Profundidad promedio (cm)	15.07	15.09	15.12	15.10	15.10	15.09	15.10
Longitud entre apoyos promedio (cm)	45.13	45.00	45.01	45.08	45.04	45.06	45.05
Peso (kg)	26.98	26.26	26.99	27.01	26.64	27.03	26.82
Carga máx. rotura (kN)	3680	3560	3640	3580	3620	3670	3625
Módulo de rotura (kg/cm²)	48.53	46.56	47.65	47.12	47.45	48.16	47.58
Desviación estándar (σ)	0.71						

Tabla 83

Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.50% de fibra de vidrio tipo E a los 28 días

Tipo de muestra:	0.50% Fibra de Vidrio			Edad de ensayo:			28 días
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la flexión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Longitud promedio (cm)	49.99	50.23	50.15	50.12	50.18	50.15	50.14
Ancho promedio (cm)	15.08	14.91	15.05	15.23	15.07	14.98	15.05
Profundidad promedio (cm)	15.07	15.08	15.00	15.09	15.09	15.08	15.07
Longitud entre apoyos promedio (cm)	44.99	45.23	45.15	45.12	45.18	45.15	45.14
Peso (kg)	26.15	26.32	26.85	26.92	26.62	26.54	26.57
Carga máx. rotura (kN)	3500	3640	3550	3600	3580	3550	3570
Módulo de rotura (kg/cm²)	45.98	48.56	47.33	46.84	47.13	47.05	47.15
Desviación estándar (σ)	0.84						

Tabla 84

Resistencia a Flexión de especímenes prismáticos con 0.75% de fibra de vidrio tipo E a los 28 días

Tipo de muestra:	0.75% Fibra de Vidrio			Edad de ensayo:			28 días
Datos de espécimen	Ensayo de resistencia a la flexión						Promedio
N° de espécimen	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04	N° 05	N° 06	-
Longitud promedio (cm)	50.07	50.07	50.06	50.08	50.08	50.08	50.07
Ancho promedio (cm)	15.05	14.97	14.94	15.00	14.99	14.96	14.99
Profundidad promedio (cm)	14.92	15.15	15.21	15.21	15.18	15.07	15.12
Longitud entre apoyos promedio (cm)	45.07	45.07	45.06	45.08	45.08	45.08	45.07
Peso (kg)	26.45	26.56	26.05	26.96	26.76	26.71	26.58
Carga máx. rotura (kN)	3050	3190	3120	3200	3140	3260	3160
Módulo de rotura (kg/cm²)	41.03	41.84	40.68	41.57	40.98	43.26	41.56
Desviación estándar (σ)	0.93						

4. Esfuerzo-deformación

Tabla 85

Datos de esfuerzo y deformación unitaria obtenidos del ensayo a flexión del espécimen N°01 (0% FV – 28 días)

F(kg)	F(N)	Lectura de deform.	Δ (mm)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (N/mm²)
0	0	0	0	0	0
100	981	2	0.02	0.0001	0.0425
200	1962	5	0.05	0.0003	0.0849
300	2943	9	0.09	0.0005	0.1274
400	3924	14	0.14	0.0008	0.1698
500	4905	17	0.17	0.001	0.2123
600	5886	21	0.21	0.0013	0.2548
700	6867	26	0.26	0.0016	0.2972
800	7848	30	0.3	0.0018	0.3397
900	8829	33	0.33	0.002	0.3821
1000	9810	36	0.36	0.0022	0.4246
1100	10791	40	0.4	0.0024	0.4671
1200	11772	44	0.44	0.0026	0.5095
1300	12753	47	0.47	0.0028	0.552
1400	13734	50	0.5	0.003	0.5945
1500	14715	53	0.53	0.0032	0.6369
1600	15696	56	0.56	0.0034	0.6794
1700	16677	60	0.6	0.0036	0.7218
1800	17658	64	0.64	0.0038	0.7643
1900	18639	67	0.67	0.004	0.8068
2000	19620	70	0.7	0.0042	0.8492
2100	20601	74	0.74	0.0044	0.8917
2200	21582	77	0.77	0.0046	0.9341
2300	22563	80	0.8	0.0048	0.9766
2400	23544	83	0.83	0.005	1.0191
2500	24525	87	0.87	0.0052	1.0615
2600	25506	90	0.9	0.0054	1.104
2700	26487	94	0.94	0.0056	1.1464
2800	27468	97	0.97	0.0058	1.1889
2900	28449	102	1.02	0.0061	1.2314
3000	29430	108	1.08	0.0065	1.2738
3100	30411	115	1.15	0.0069	1.3163
3200	31392	123	1.23	0.0074	1.3588
3300	32373	131	1.31	0.0079	1.4012
3400	33354	139	1.39	0.0083	1.4437
3500	34335	146	1.46	0.0088	1.4861

Figura 15

Curva esfuerzo-deformación obtenida del ensayo a flexión del espécimen N°01 (0% FV – 28 días)

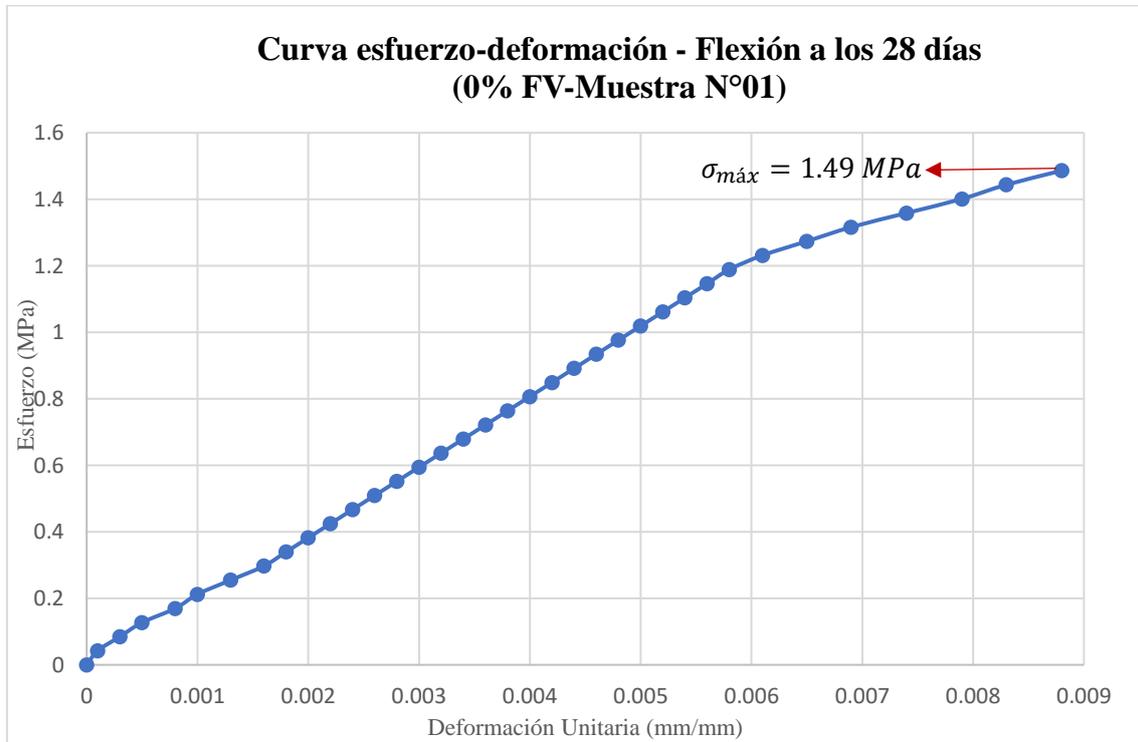


Tabla 86

Datos de esfuerzo y deformación unitaria obtenidos del ensayo a flexión del espécimen N°01 (0.25% FV – 28 días)

F(kg)	F(N)	Lectura de deform.	Δ (mm)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (N/mm²)
0	0	0	0	0	0
100	981	2	0.02	0.0001	0.0432
200	1962	4	0.04	0.0002	0.0864
300	2943	5	0.05	0.0003	0.1296
400	3924	7	0.07	0.0004	0.1728
500	4905	9	0.09	0.0005	0.216
600	5886	12	0.12	0.0007	0.2592
700	6867	15	0.15	0.0009	0.3024
800	7848	19	0.19	0.0011	0.3456
900	8829	21	0.21	0.0013	0.3888
1000	9810	25	0.25	0.0015	0.432
1100	10791	28	0.28	0.0017	0.4752
1200	11772	31	0.31	0.0019	0.5184
1300	12753	35	0.35	0.0021	0.5615
1400	13734	38	0.38	0.0023	0.6047
1500	14715	41	0.41	0.0025	0.6479
1600	15696	45	0.45	0.0027	0.6911
1700	16677	48	0.48	0.0029	0.7343
1800	17658	50	0.5	0.003	0.7775
1900	18639	52	0.52	0.0031	0.8207
2000	19620	54	0.54	0.0032	0.8639
2100	20601	55	0.55	0.0033	0.9071
2200	21582	57	0.57	0.0034	0.9503
2300	22563	59	0.59	0.0035	0.9935
2400	23544	62	0.62	0.0037	1.0367
2500	24525	64	0.64	0.0038	1.0799
2600	25506	66	0.66	0.0039	1.1231
2700	26487	67	0.67	0.004	1.1663
2800	27468	71	0.71	0.0042	1.2095
2900	28449	72	0.72	0.0043	1.2527
3000	29430	75	0.75	0.0045	1.2959
3100	30411	77	0.77	0.0046	1.3391
3200	31392	80	0.8	0.0048	1.3823
3300	32373	84	0.84	0.005	1.4255
3400	33354	87	0.87	0.0052	1.4687
3500	34335	91	0.91	0.0054	1.5119
3600	35316	98	0.98	0.0059	1.5551
3680	36100.8	108	1.08	0.0065	1.5896

Figura 16

*Curva esfuerzo-deformación obtenida del ensayo a flexión del espécimen N°01
(0.25% FV – 28 días)*

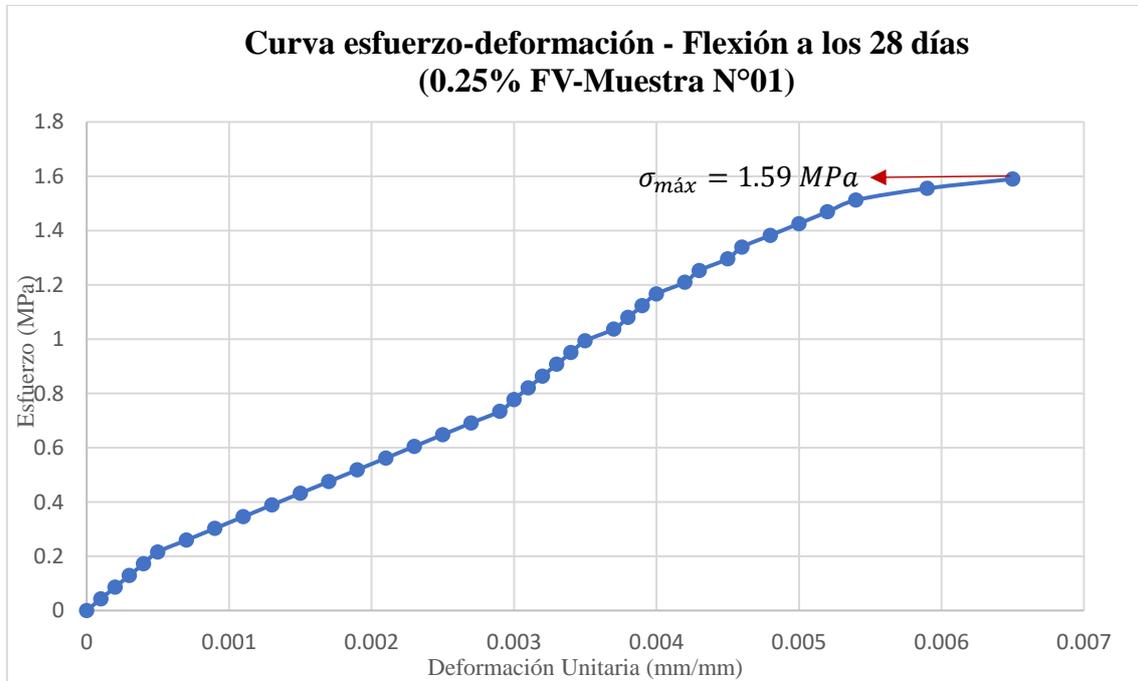


Tabla 87

Datos de esfuerzo y deformación unitaria obtenidos del ensayo a flexión del espécimen N°01 (0.50% FV – 28 días)

F(kg)	F(N)	Lectura de deform.	Δ (mm)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (N/mm²)
0	0	0	0	0	0
100	981	3	0.03	0.0002	0.0432
200	1962	7	0.07	0.0004	0.0863
300	2943	12	0.12	0.0007	0.1295
400	3924	17	0.17	0.001	0.1727
500	4905	22	0.22	0.0013	0.2158
600	5886	29	0.29	0.0017	0.259
700	6867	34	0.34	0.002	0.3022
800	7848	39	0.39	0.0023	0.3453
900	8829	45	0.45	0.0027	0.3885
1000	9810	51	0.51	0.0031	0.4317
1100	10791	56	0.56	0.0034	0.4748
1200	11772	60	0.6	0.0036	0.518
1300	12753	64	0.64	0.0038	0.5612
1400	13734	69	0.69	0.0041	0.6043
1500	14715	72	0.72	0.0043	0.6475
1600	15696	75	0.75	0.0045	0.6907
1700	16677	79	0.79	0.0047	0.7338
1800	17658	82	0.82	0.0049	0.777
1900	18639	85	0.85	0.0051	0.8202
2000	19620	88	0.88	0.0053	0.8633
2100	20601	92	0.92	0.0055	0.9065
2200	21582	95	0.95	0.0057	0.9497
2300	22563	100	1	0.006	0.9928
2400	23544	104	1.04	0.0062	1.036
2500	24525	107	1.07	0.0064	1.0792
2600	25506	111	1.11	0.0067	1.1223
2700	26487	115	1.15	0.0069	1.1655
2800	27468	118	1.18	0.0071	1.2087
2900	28449	121	1.21	0.0073	1.2519
3000	29430	125	1.25	0.0075	1.295
3100	30411	128	1.28	0.0077	1.3382
3200	31392	131	1.31	0.0079	1.3814
3300	32373	135	1.35	0.0081	1.4245
3400	33354	139	1.39	0.0083	1.4677
3500	34335	144	1.44	0.0086	1.5109

Figura 17

*Curva esfuerzo-deformación obtenida del ensayo a flexión del espécimen N°01
(0.50% FV – 28 días)*

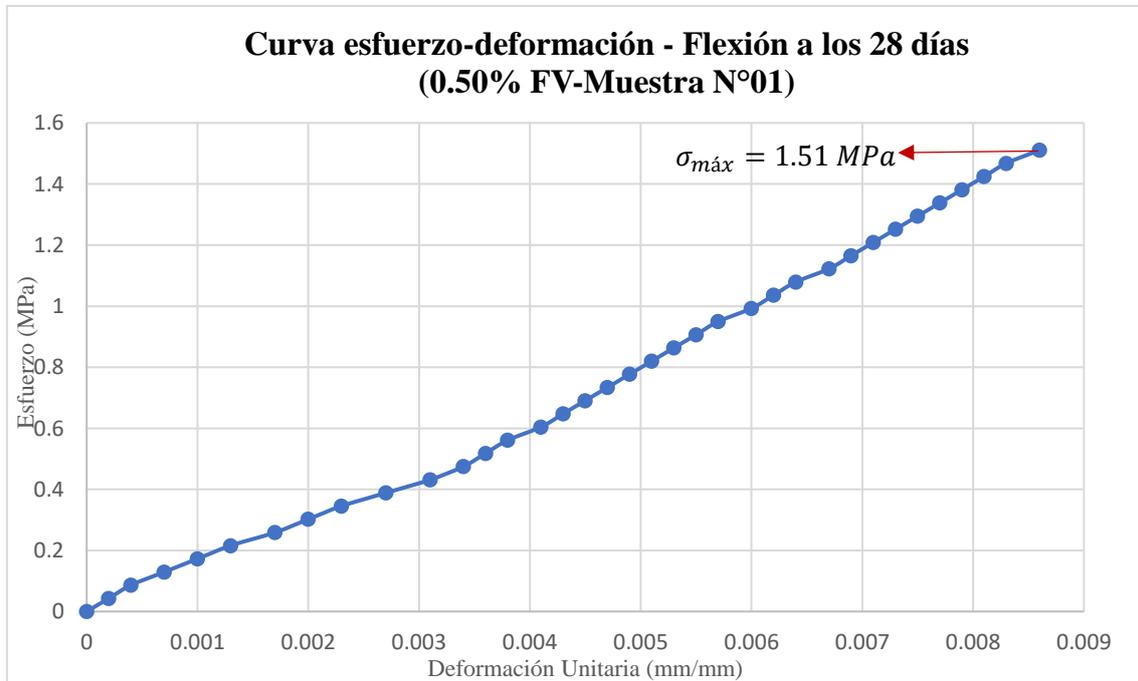


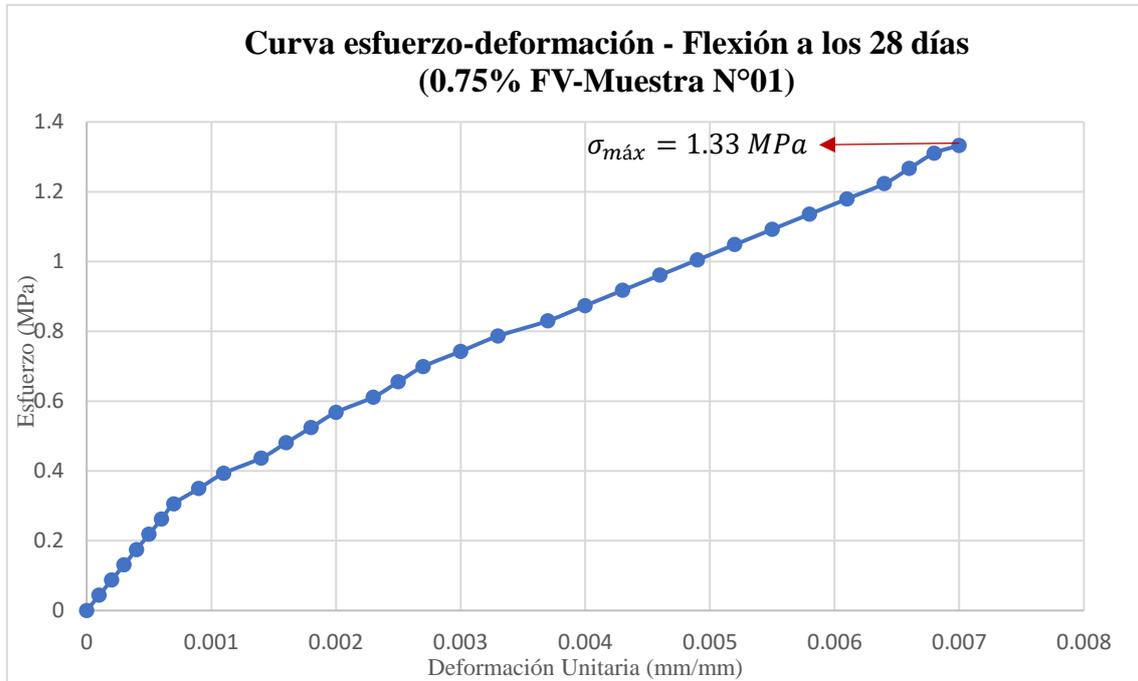
Tabla 88

Datos de esfuerzo y deformación unitaria obtenidos del ensayo a flexión del espécimen N°01 (0.75% FV – 28 días)

F(kg)	F(N)	Lectura de deform.	Δ (mm)	Deformación (mm/mm)	Esfuerzo (N/mm²)
0	0	0	0	0	0
100	981	1	0.01	0.0001	0.0437
200	1962	3	0.03	0.0002	0.0874
300	2943	5	0.05	0.0003	0.1311
400	3924	7	0.07	0.0004	0.1748
500	4905	8	0.08	0.0005	0.2184
600	5886	10	0.1	0.0006	0.2621
700	6867	12	0.12	0.0007	0.3058
800	7848	15	0.15	0.0009	0.3495
900	8829	19	0.19	0.0011	0.3932
1000	9810	24	0.24	0.0014	0.4369
1100	10791	27	0.27	0.0016	0.4806
1200	11772	30	0.3	0.0018	0.5243
1300	12753	34	0.34	0.002	0.5679
1400	13734	38	0.38	0.0023	0.6116
1500	14715	41	0.41	0.0025	0.6553
1600	15696	45	0.45	0.0027	0.699
1700	16677	50	0.5	0.003	0.7427
1800	17658	55	0.55	0.0033	0.7864
1900	18639	62	0.62	0.0037	0.8301
2000	19620	67	0.67	0.004	0.8738
2100	20601	72	0.72	0.0043	0.9175
2200	21582	76	0.76	0.0046	0.9611
2300	22563	82	0.82	0.0049	1.0048
2400	23544	87	0.87	0.0052	1.0485
2500	24525	92	0.92	0.0055	1.0922
2600	25506	96	0.96	0.0058	1.1359
2700	26487	102	1.02	0.0061	1.1796
2800	27468	107	1.07	0.0064	1.2233
2900	28449	110	1.1	0.0066	1.267
3000	29430	113	1.13	0.0068	1.3106
3050	29920.5	116	1.16	0.007	1.3325

Figura 18

*Curva esfuerzo-deformación obtenida del ensayo a flexión del espécimen N°01
(0.75% FV – 28 días)*



ANEXOS IX: CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES “MG. ING. CARLOS ESPARZA DIAZ” DE LA UNC



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. **ANA PAULA BUENO PADILLA**, 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 material más fino que pasa el tamiz 200
07	Ensayo de resistencia a la degradación, por abrasión e impacto
08	Elaboración de especímenes cilíndricos y prismáticos de concreto
09	Ensayo a compresión en muestras cilíndricas
10	Ensayo a flexión muestras prismáticas

Para la Tesis Titulada: **“INFLUENCIA DE LA FIBRA DE VIDRIO EN EL MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO HIDRÁULICO DE $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO, EN EL AÑO 2023”**. Las actividades se desarrollaron del 15 de julio 16 de octubre de 2024.

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

Cajamarca, 10 de noviembre de 2024.

Atentamente:

c.c. a:
_Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Ing. Mauro Córdova Vargas
JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

ANEXOS X: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 19

Ensayo de Peso Específico de agregado fino.



Figura 20

Ensayo de Análisis Granulométrico de agregado fino.



Figura 21

Ensayo de Peso unitario suelto de agregado grueso.

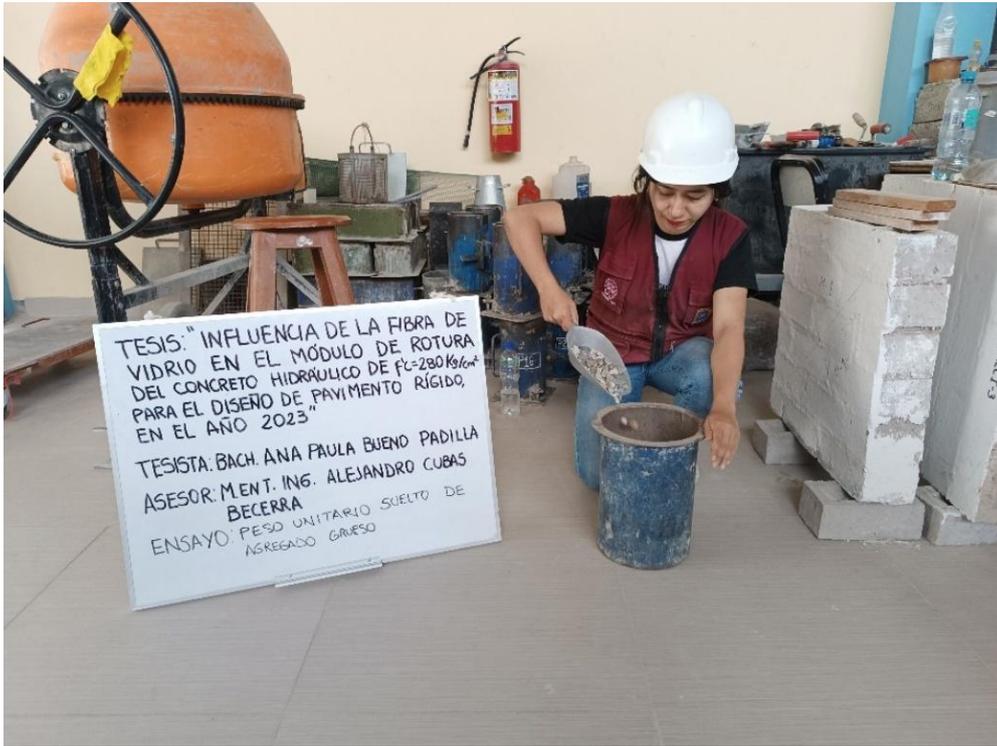


Figura 22

Ensayo de Peso unitario compactado de agregado fino.



Figura 23

Desmenuzado de la fibra de vidrio Tipo E.



Figura 24

Colocación de fibra de vidrio en mezcla de concreto para elaboración de especímenes cilíndricos.



Figura 25

Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos patrón a los 14 días.



Figura 26

Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos con una adición de 0.25% de fibra de vidrio a los 14 días.



Figura 27

Medición de slump en mezcla de concreto para especímenes con adición de 0.25% de fibra de vidrio.



Figura 28

Medición de slump en mezcla de concreto para especímenes con adición de 0.75% de fibra de vidrio.



Figura 29

Medición de longitud de especímenes prismáticos.



Figura 30

Ensayo de resistencia a la flexión de especímenes prismáticos con una adición de 0.75 % de fibra de vidrio a los 14 días.



Figura 31

Distribución de agregado en espécimen prismático patrón.



Figura 32

Distribución de agregado y fibra de vidrio en espécimen prismático con adición de 0.25% de fibra de vidrio.



Figura 33

Distribución de agregado y fibra de vidrio en espécimen prismático con adición de 0.50% de fibra de vidrio.



Figura 34

Distribución de agregado y fibra de vidrio en espécimen prismático con adición de 0.75% de fibra de vidrio.

