

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



TESIS

“ANÁLISIS DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA”

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

CARLOS EVER REINOSO ESTEBAN

ASESOR

Ing. RAFAEL CACHAY HUAMAN

Lima - Perú

2021

DEDICATORIA

*A la mujer más fuerte del
mundo, mi madre, con amor.*

AGRADECIMIENTOS

A cada persona que de alguna u otra forma colaboró en la elaboración de esta tesis, en especial al Ing. Rafael Cachay por su guía y consejo acertado, a mi familia y mis mejores amigos por su compañía y apoyo brindado en cada etapa de mi investigación. Sin ustedes esto no hubiera sido posible, muchas gracias por todo, Dios los bendiga e ilumine siempre sus destinos con salud, felicidad y buena suerte.

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE	1
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
LISTA DE TABLAS	10
LISTA DE FIGURAS	25
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	33
CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN	36
CAPÍTULO II : FUNDAMENTO TEÓRICO	37
2.1. ANTECEDENTES REFERENCIALES	37
2.2. PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	43
2.3. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS	44
2.3.1. OBJETIVO PRINCIPAL	44
2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	44
2.4. HIPÓTESIS	44
2.5. MARCO TEÓRICO	45
CAPÍTULO III : PARÁMETROS INICIALES	51
3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA DE CONCRETO	51
3.1.1. DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO	51
3.1.1.1. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO (NTP 339.185)	51
3.1.1.2. PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO (NTP 400.017)	55
3.1.1.3. PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO (NTP 400.017)	57

3.1.1.4. PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (NTP 400.022).....	59
3.1.1.5. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO (NTP 400.012 – ASTM C33).....	65
3.1.1.6. MODULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO (NTP 400.012).....	69
3.1.2. DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO	69
3.1.2.1. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO (NTP 339.185)	70
3.1.2.2. PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.017)	73
3.1.2.3. PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.017)	76
3.1.2.4. PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.021)	78
3.1.2.5. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.012 – ASTM C33).....	82
3.1.2.6. MODULO DE FINURA DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.012).....	85
3.1.3. DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO.....	85
3.1.4. DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA.....	86
3.1.5. DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA FIBRA SINTÉTICA SikaCem-1 Fiber.....	86
3.1.6. DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL ADITIVO PLASTIFICANTE SikaCem Plastificante.....	87
3.2. DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO.....	89
3.2.1. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ($a/c=0.60$).....	89
3.2.1.1. DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PATRÓN ($a/c=0.60$)	93
3.2.1.2. DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ($a/c=0.60$) REFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA AL (0.50%, 1.00%, 2.00%) DEL PESO DE CEMENTO.....	95
3.2.2. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ($a/c=0.65$).....	97

3.2.2.1.	DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PATRÓN ($a/c=0.65$)	100
3.2.2.2.	DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ($a/c=0.65$) REFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA AL (0.50%, 1.00%, 2.00%) DEL PESO DE CEMENTO.....	102
3.2.3.	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ($a/c=0.70$).....	104
3.2.3.1.	DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PATRÓN ($a/c=0.70$)	107
3.2.3.2.	DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ($a/c=0.70$) REFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA AL (0.50%, 1.00%, 2.00%) DEL PESO DE CEMENTO.....	109
CAPÍTULO IV :	ENSAYOS	111
4.1.	ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO PLÁSTICO	111
4.1.1.	ENSAYO DE ASENTAMIENTO (NTP 339.035)	111
4.1.2.	ENSAYO DE PESO UNITARIO (NTP 339.046)	113
4.1.3.	ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA (NTP 339.082).....	115
4.2.	ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	117
4.2.1.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	(NTP 339.034)117
4.2.2.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIÁMETRAL (NTP 339.084).....	121
4.2.3.	ENSAYO DE MÓDULO DE ROTURA (ASTM C293/C293-M10).....	123
CAPÍTULO V :	RESULTADOS	130
5.1.	RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO PLÁSTICO	130
5.1.1.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE ASENTAMIENTO (NTP 339.035)	130
5.1.1.1.	ASENTAMIENTOS DE CONCRETOS CON RELACIÓN ($a/c = 0.60$)	130
5.1.1.2.	ASENTAMIENTOS DE CONCRETOS CON RELACIÓN ($a/c = 0.65$)	132
5.1.1.3.	ASENTAMIENTOS DE CONCRETOS CON RELACIÓN ($a/c = 0.70$)	134

5.1.2. RESULTADOS DEL ENSAYO DEL PESO UNITARIO (NTP 339.046)	136
5.1.2.1. PESOS UNITARIOS DE CONCRETOS CON RELACIÓN ($a/c = 0.60$)	136
5.1.2.2. PESOS UNITARIOS DE CONCRETOS CON RELACIÓN ($a/c = 0.65$)	140
5.1.2.3. PESOS UNITARIOS DE CONCRETOS CON RELACIÓN ($a/c = 0.70$)	144
5.1.3. RESULTADOS DE ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGUA (NTP 339.082)	148
5.1.3.1. TIEMPO DE FRAGUA DE CONCRETO ($a/c = 0.65$) PATRÓN	148
5.1.3.2. TIEMPO DE FRAGUA DE CONCRETO ($a/c = 0.65$), FIBRORREFORZADO AL 0.50%	150
5.1.3.3. TIEMPO DE FRAGUA DE CONCRETO ($a/c = 0.65$), FIBRORREFORZADO AL 1.00%	152
5.1.3.4. TIEMPO DE FRAGUA DE CONCRETO ($a/c = 0.65$), FIBRORREFORZADO AL 2.00%	154
5.2. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	156
5.2.1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (NTP 339.034)	156
5.2.1.1. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE CONCRETOS CON RELACIÓN ($a/c = 0.60$)	157
5.2.1.2. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE CONCRETOS CON RELACIÓN ($a/c = 0.65$)	161
5.2.1.3. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE CONCRETOS CON RELACIÓN ($a/c = 0.70$)	165
5.2.2. RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIÁMETRAL (NTP 339.084)	169
5.2.2.1. RESISTENCIAS A LA TRACCIÓN DE CONCRETOS CON RELACIÓN ($a/c = 0.60$)	170
5.2.2.2. RESISTENCIAS A LA TRACCIÓN DE CONCRETOS CON RELACIÓN ($a/c = 0.65$)	174
5.2.2.3. RESISTENCIAS A LA TRACCIÓN DE CONCRETOS CON RELACIÓN ($a/c = 0.70$)	178

5.2.3. RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ROTURA (ASTM C293/C293-M10).....	182
5.2.3.1. MÓDULOS DE ROTURA DE CONCRETOS CON RELACIÓN ($a/c = 0.60$)	183
5.2.3.2. MÓDULOS DE ROTURA DE CONCRETOS CON RELACIÓN ($a/c = 0.65$)	185
5.2.3.3. MÓDULOS DE ROTURA DE CONCRETOS CON RELACIÓN ($a/c = 0.70$)	187
CAPÍTULO VI : ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	189
6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO PLÁSTICO	189
6.1.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE ASENTAMIENTO (NTP 339.035).....	189
6.1.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO (NTP 339.046).....	194
6.1.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA (NTP 339.082)	197
6.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	200
6.2.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (NTP 339.034).....	200
6.2.1.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO	202
6.2.1.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE FIBRA SINTÉTICA, EN ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	209
6.2.1.3. INTERVALOS DE CONFIANZA DE LA MEDIA POBLACIONAL DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO	221
6.2.1.4. ANÁLISIS DE TIPOS DE FALLA DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	240
6.2.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIÁMETRAL (NTP 339.084).....	248
6.2.2.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO	249

6.2.2.2. INTERVALOS DE CONFIANZA DE LA MEDIA POBLACIONAL DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO	256
6.2.2.3. ANÁLISIS CUALITATIVO DE FALLA EN MUESTRAS ENSAYADAS A TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL	273
6.2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ROTURA (ASTM C239/C239M-10)	292
6.2.3.1. ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO	293
6.2.3.2. PRUEBA DE HIPOTESIS DE LA CONSTANCIA DEL MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO ENTRE LAS MUESTRAS DEL CONCRETO PATRON Y FIBRORREFORZADO.....	296
6.2.3.3. ANÁLISIS CUALITATIVO DE FALLA EN VIGAS ENSAYADAS A MODULO DE ROTURA CON CARGA EN EL CENTRO DE LUZ	308
CAPÍTULO VII : ELABORACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	314
7.1. ANÁLISIS DE REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA.....	316
7.1.1. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.60).....	316
7.1.2. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.65).....	322
7.1.3. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.70).....	328
7.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA.....	334
7.2.1. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL	

DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.60).....	334
7.2.2. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.65).....	343
7.2.3. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.70).....	349
7.3. ANÁLISIS DE REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: PÉRDIDA PORCENTUAL DE ASENTAMIENTO VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA.....	355
7.3.1. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: PÉRDIDA PORCENTUAL DE ASENTAMIENTO VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.60).....	355
7.3.2. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: PÉRDIDA PORCENTUAL DE ASENTAMIENTO VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.65).....	361
7.3.3. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: PÉRDIDA PORCENTUAL DE ASENTAMIENTO VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.70).....	367
7.4. PLANTEAMIENTO DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO DE CONCRETO FIBRORREFORZADO CON FIBRA SÍNTETICA Sika Cem1-Fiber.....	373
7.5. EJEMPLO APLICATIVO DE DISEÑO DE CONCRETO FIBRORREFORZADO CON FIBRA SÍNTETICA Sika Cem1-Fiber.....	376
CONCLUSIONES	380
RECOMENDACIONES	395
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	396
ANEXOS	400

RESUMEN

La carencia de información en las especificaciones técnicas suscritas por el fabricante, dificulta el conocimiento detallado de las propiedades resistentes del concreto reforzado con fibra sintética; ante este hecho la presente tesis tuvo como objetivo evaluar y analizar las propiedades del concreto fibrorreforzado en estado plástico y endurecido. Para tales fines se estudiaron muestras de concreto de relaciones agua - cemento (a/c) (0.60, 0.65, 0.70) a distintos niveles dosificación de fibra sintética (0.50%, 1.00% y 2.00% del peso de cemento).

La etapa experimental de la Tesis fue llevada a cabo en las instalaciones del Laboratorio N°1 de ensayo de materiales (LEM) de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, realizándose ensayos de asentamiento, peso unitario y tiempo de fragua en un total de 74 muestras de concreto fresco y ensayos de resistencia a la compresión, tracción por compresión diametral y módulo de rotura en un total de 240 muestras de concreto endurecido.

Concluyendo de los ensayos en muestras de concreto fresco, que el concreto fibrorreforzado presentó con respecto del patrón: pérdidas significativas de hasta el 66.00% en el asentamiento, incrementos de hasta el 0.18% en el peso unitario y reducciones de hasta el 21.79% en el tiempo de fragua. Y de los ensayos en muestras de concreto endurecido, que el concreto fibrorreforzado presentó con respecto del patrón: Incrementos de hasta el 22.90% en la resistencia a la compresión, incrementos de hasta el 13.57% en la resistencia a la tracción por compresión diametral e invariancia demostrada de la resistencia a la flexión.

ABSTRACT

The lack of information in the technical specifications signed by the manufacturer, hinders the detailed knowledge of the resistant properties of concrete reinforced with synthetic fiber, in view of this fact the present thesis aimed to evaluate and analyze the properties of fiber-reinforced concrete in plastic and hardened state. . For such purposes, concrete samples of water-cement ratios (a/c) (0.60, 0.65, 0.70) were studied at different levels of synthetic fiber dosage (0.50%, 1.00% and 2.00% of the cement weight).

The experimental stage of the Thesis was carried out in the facilities of the Laboratory N ° 1 of test of materials (LEM) of the Faculty of Civil Engineering of the National University of Engineering, performing tests of settlement, unit weight and time of forge in a total of 80 samples of fresh concrete and tests of compressive strength, diametral compression traction and rupture modulus in a total of 240 samples of hardened concrete.

Concluding from the tests on fresh concrete samples, that the fiber-reinforced concrete presented with respect to the pattern: significant losses of up to 66.00% in slump, increases of up to 0.18% in unit weight and reductions of up to 21.79% in the forge time. And from the tests on samples of hardened concrete, that the fiber-reinforced concrete presented with respect to the pattern: Increases of up to 22.90% in compressive strength, increases of up to 13.57% in tensile strength per diametral compression and demonstrated invariance of flexural strength.

LISTA DE TABLAS

Tabla II.1: Materiales predominantes en pisos de las edificaciones a nivel nacional.	37
Tabla II.2: Materiales predominantes en paredes exteriores de edificaciones a nivel nacional.	38
Tabla II.3: Materiales predominantes en techos de edificaciones a nivel nacional.	39
Tabla III.1: Calculo de contenido de humedad en muestras de agregado fino.	55
Tabla III.2: Calculo de peso unitario suelto de agregado fino.	57
Tabla III.3: Calculo de peso unitario compactado de agregado fino.	59
Tabla III.4: Parámetros iniciales para el cálculo del porcentaje de absorción y peso específico del agregado fino.	65
Tabla III.5: Cálculo del porcentaje de absorción y peso específico del agregado fino.	65
Tabla III.6: Cálculo porcentajes retenidos, acumulados retenidos y porcentajes que pasan.....	67
Tabla III.7: Limites granulométricos del agregado fino.	68
Tabla III.8: Calculo de contenido de humedad en muestras de agregado grueso.....	73
Tabla III.9: Calculo de peso unitario suelto de agregado grueso.	76
Tabla III.10: Calculo de peso unitario compactado de agregado fino.	78
Tabla III.11: Parámetros iniciales para el cálculo del porcentaje de absorción y peso específico del agregado grueso.....	81
Tabla III.12: Cálculo del porcentaje de absorción y peso específico del agregado grueso.....	82
Tabla III.13: Cálculo porcentajes retenidos, acumulados retenidos y porcentajes que pasan.....	83
Tabla III.14: Husos granulométricos del agregado grueso.	83
Tabla III.15: Limites granulométricos del Huso 5 para agregado grueso.	84
Tabla III.16: Propiedades físicas del Cemento Sol Portland TIPO I.....	86
Tabla III.17: Propiedades físicas de la fibra SikaCem-1 Fiber.	87

Tabla III.18: Propiedades físicas del aditivo plastificante SikaCem Plastificante.....	88
Tabla III.19: Requerimiento aproximado de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregado, según recomendaciones del Comité 211 del ACI.....	89
Tabla III.20: Módulo de fineza de combinación de agregados, según investigadores de la Universidad de Maryland	91
Tabla III.21: Dosificación del concreto en volumen (relación a/c = 0.60), por 1m ³ de concreto	93
Tabla III.22: Dosificación del concreto en peso seco (relación a/c = 0.60), por 1m ³ de concreto	93
Tabla III.23: Correcciones por contenido de humedad y absorción de los agregados, por 1m ³ de concreto (relación a/c = 0.60)	94
Tabla III.24: Dosificación del concreto patrón (relación a/c = 0.60), por 1m ³ de concreto	94
Tabla III.25: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 0.50% y (relación a/c = 0.60), por 1m ³ de concreto	95
Tabla III.26: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 1.00% y (relación a/c = 0.60), por 1m ³ de concreto	95
Tabla III.27: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 2.00% y (relación a/c = 0.60), por 1m ³ de concreto	96
Tabla III.28: Dosificación del concreto en volumen (relación a/c = 0.65), por 1m ³ de concreto.....	100
Tabla III.29: Dosificación del concreto en peso seco (relación a/c = 0.65), por 1m ³ de concreto.....	100
Tabla III.30: Correcciones por contenido de humedad y absorción de los agregados, por 1m ³ de concreto (relación a/c = 0.65)	101
Tabla III.31: Dosificación del concreto patrón (relación a/c = 0.65), por 1m ³ de concreto	101
Tabla III.32: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 0.50% y (relación a/c = 0.65), por 1m ³ de concreto	102
Tabla III.33: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 1.00% y (relación a/c = 0.65), por 1m ³ de concreto	102
Tabla III.34: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 2.00% y (relación a/c = 0.65), por 1m ³ de concreto	103
Tabla III.35: Dosificación del concreto en volumen (relación a/c = 0.70), por 1m ³ de concreto	107

Tabla III.36: Dosificación del concreto en peso seco (relación a/c = 0.70), por 1m ³ de concreto	107
Tabla III.37: Correcciones por contenido de humedad y absorción de los agregados, por 1m ³ de concreto (relación a/c = 0.70).	108
Tabla III.38: Dosificación del concreto patrón (relación a/c = 0.70), por 1m ³ de concreto	108
Tabla III.39: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 0.50% y (relación a/c = 0.70), por 1m ³ de concreto	109
Tabla III.40: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 1.00% y (relación a/c = 0.70), por 1m ³ de concreto.	109
Tabla III.41: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 2.00% y (relación a/c = 0.70), por 1m ³ de concreto.	110
Tabla V.1: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto patrón (a/c) = 0.60	130
Tabla V.2: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento.....	130
Tabla V.3: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento.....	131
Tabla V.4: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento.....	131
Tabla V.5: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto patrón (a/c) = 0.65	132
Tabla V.6: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento.....	132
Tabla V.7: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento.....	133
Tabla V.8: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento.....	133
Tabla V.9: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto patrón (a/c) = 0.70	134
Tabla V.10: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento.....	134
Tabla V.11: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento.....	135
Tabla V.12: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento.....	135

Tabla V.13: Datos del ensayo de peso unitario en concreto patrón (a/c) = 0.60	136
Tabla V.14: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto patrón (a/c) = 0.60	136
Tabla V.15: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento.....	137
Tabla V.16: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento.....	137
Tabla V.17: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento.....	138
Tabla V.18: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento.....	138
Tabla V.19: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento.....	139
Tabla V.20: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento.....	139
Tabla V.21: Datos del ensayo de peso unitario en concreto patrón (a/c) = 0.65.....	140
Tabla V.22: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto patrón (a/c) = 0.65.....	140
Tabla V.23: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento.....	141
Tabla V.24: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento.....	141
Tabla V.25: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento.....	142
Tabla V.26: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento.....	142
Tabla V.27: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento.....	143
Tabla V.28: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento.....	143
Tabla V.29: Datos del ensayo de peso unitario en concreto patrón (a/c) = 0.70.....	144
Tabla V.30: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto patrón (a/c) = 0.70.....	144

Tabla V.31: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento.....	145
Tabla V.32: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento.....	145
Tabla V.33: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento.....	146
Tabla V.34: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento.....	146
Tabla V.35: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento.....	147
Tabla V.36: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento.....	147
Tabla V.37: Datos del ensayo de tiempo de fragua en concreto patrón (a/c) = 0.65.....	148
Tabla V.38: Tiempo de fragua inicial y final en concreto patrón (a/c) = 0.65.....	149
Tabla V.39: Datos del ensayo de tiempo de fragua en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 0.50%	150
Tabla V.40: Tiempo de fragua inicial y final en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 0.50%	151
Tabla V.41: Datos del ensayo de tiempo de fragua en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 1.00%	152
Tabla V.42: Tiempo de fragua inicial y final en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 1.00%	153
Tabla V.43: Datos del ensayo de tiempo de fragua en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 2.00%	154
Tabla V.44: Tiempo de fragua inicial y final en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 2.00%	155
Tabla V.45: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, patrón, en probetas con 7 días de curado.....	157
Tabla V.46: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, patrón, en probetas con 28 días de curado.....	157
Tabla V.47: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 7 días de curado	158
Tabla V.48: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado	158

Tabla V.49: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 7 días de curado	159
Tabla V.50: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado	159
Tabla V.51: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 7 días de curado	160
Tabla V.52: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado	160
Tabla V.53: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, patrón, en probetas con 7 días de curado.....	161
Tabla V.54: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, patrón, en probetas con 28 días de curado.....	161
Tabla V.55: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 7 días de curado	162
Tabla V.56: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado	162
Tabla V.57: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 7 días de curado	163
Tabla V.58: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado	163
Tabla V.59: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 7 días de curado	164
Tabla V.60: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado	164
Tabla V.61: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, patrón, en probetas con 7 días de curado.....	165
Tabla V.62: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, patrón, en probetas con 28 días de curado.....	165

Tabla V.63: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 7 días de curado	166
Tabla V.64: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado	166
Tabla V.65: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 7 días de curado	167
Tabla V.66 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado	167
Tabla V.67: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 7 días de curado	168
Tabla V.68: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado	168
Tabla V.69: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, patrón, en probetas con 7 días de curado.....	170
Tabla V.70: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, patrón, en probetas con 28 días de curado.....	170
Tabla V.71: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 7 días de curado	171
Tabla V.72: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado	171
Tabla V.73: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 7 días de curado	172
Tabla V.74: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado	172
Tabla V.75: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 7 días de curado	173
Tabla V.76: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado	173

Tabla V.77: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, patrón, en probetas con 7 días de curado.....	174
Tabla V.78: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, patrón, en probetas con 28 días de curado.....	174
Tabla V.79: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 7 días de curado	175
Tabla V.80: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado	175
Tabla V.81: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 7 días de curado	176
Tabla V.82: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado	176
Tabla V.83: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 7 días de curado	177
Tabla V.84: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado	177
Tabla V.85: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, patrón, en probetas con 7 días de curado.....	178
Tabla V.86: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, patrón, en probetas con 28 días de curado.....	178
Tabla V.87: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 7 días de curado	179
Tabla V.88: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado	179
Tabla V.89: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 7 días de curado	180
Tabla V.90: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado	180

Tabla V.91: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 7 días de curado	181
Tabla V.92: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado	181
Tabla V.93: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.60, patrón, en probetas con 28 días de curado.....	183
Tabla V.94: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado	183
Tabla V.95: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado	184
Tabla V.96: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado	184
Tabla V.97: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.65, patrón, en probetas con 28 días de curado.....	185
Tabla V.98: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado	185
Tabla V.99: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado	186
Tabla V.100: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado	186
Tabla V.101: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.70, patrón, en probetas con 28 días de curado.....	187
Tabla V.102: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado	187
Tabla V.103: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado	188
Tabla V.104: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado	188
Tabla VI.1: Resumen de resultados del ensayo de asentamiento en muestras de concreto fresco.	189
Tabla VI.2: Asentamiento (%) en función del asentamiento del concreto patrón.	189
Tabla VI.3: Perdida de asentamiento (%) en función del asentamiento del concreto patrón.	191
Tabla VI.4: Resumen de resultados del ensayo de peso unitario en muestras de concreto fresco.	194

Tabla VI.5: Peso unitario (%) en función del peso unitario del concreto patrón.	194
Tabla VI.6: Incremento de peso unitario (%) en función del peso unitario del concreto patrón.	195
Tabla VI.7: Resumen de resultados del ensayo de tiempo de fragua en muestras de concreto fresco.....	197
Tabla VI.8: Tiempo de fragua (%) en función del tiempo de fragua (inicial y final) del concreto patrón ($a/c = 0.65$)	197
Tabla VI.9: Reducción del tiempo de fragua (%) en función del peso unitario del concreto patrón.	198
Tabla VI.10: Coeficientes de variación máximos permisibles, en el ensayo de resistencia a la compresión.	200
Tabla VI.11: Verificación de la validez de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras de concreto con 7 días de curado.	201
Tabla VI.12: Verificación de la validez de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras de concreto con 28 días de curado.	201
Tabla VI.13: Resumen de resultados del ensayo de resistencia a la compresión promedio (en muestras de concreto con 7 días de curado).	202
Tabla VI.14: Resistencia a la compresión promedio (%) en función de la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 7 días de curado).	202
Tabla VI.15: Incremento de la resistencia a la compresión promedio (%) en función de la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 7 días de curado).	204
Tabla VI.16: Resumen de resultados del ensayo de resistencia a la compresión promedio (en muestras de concreto con 28 días de curado).	206
Tabla VI.17: Resistencia a la compresión promedio (%) en función de la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 28 días de curado).	206
Tabla VI.18: Incremento de la resistencia a la compresión promedio (%) en función de la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 28 días de curado).	208
Tabla VI.19: Datos de resistencia a la compresión (muestras con relación $a/c=0.60$, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%)	212
Tabla VI.20: Datos para el cálculo de D , SD y $T = DnSD$ (muestras con relación $a/c=0.60$, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%).....	213

Tabla VI.21: Datos de resistencia a la compresión (muestras con relación $a/c=0.65$, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%)	215
Tabla VI.22: Datos para el cálculo de D , SD y $T = DnSD$ (muestras con relación $a/c=0.65$, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%).....	216
Tabla VI.23: Datos de resistencia a la compresión (muestras con relación $a/c=0.70$, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%)	218
Tabla VI.24: Datos para el cálculo de D , SD y $T = DnSD$ (muestras con relación $a/c=0.70$, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%).....	219
Tabla VI.25: Tabla de distribución de probabilidad de la función T – de Student.....	222
Tabla VI.26: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado de relación $a/c = 0.60$ con 7 días de curado)	225
Tabla VI.27: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado de relación $a/c = 0.60$ con 28 días de curado)	226
Tabla VI.28: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado de relación $a/c = 0.65$ con 7 días de curado)	230
Tabla VI.29: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado de relación $a/c = 0.65$ con 28 días de curado)	231
Tabla VI.30: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado de relación $a/c = 0.70$ con 7 días de curado)	235
Tabla VI.31: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado de relación $a/c = 0.70$ con 28 días de curado)	236
Tabla VI.32: Tipos de falla en muestras de concreto patrón y fibrorreforzadas con relación ($a/c = 0.60$) y 7 días de curado.....	241
Tabla VI.33: Tipos de falla en muestras de concreto patrón y fibrorreforzadas con relación ($a/c = 0.60$) y 28 días de curado.....	241
Tabla VI.34: Comparación de tipos de falla entre muestras de concreto patrón y fibrorreforzado al 2.00%, con relación ($a/c = 0.60$) y 28 días de curado.....	242
Tabla VI.35: Tipos de falla en muestras de concreto patrón y fibrorreforzadas con relación ($a/c = 0.65$) y 7 días de curado.....	243
Tabla VI.36: Tipos de falla en muestras de concreto patrón y fibrorreforzadas con relación ($a/c = 0.65$) y 28 días de curado.....	243
Tabla VI.37: Comparación de tipos de falla entre muestras de concreto patrón y fibrorreforzado al 2.00%, con relación ($a/c = 0.65$) y 28 días de curado.....	244

Tabla VI.38: Tipos de falla en muestras de concreto patrón y fibrorreforzadas con relación (a/c = 0.70) y 7 días de curado.....	245
Tabla VI.39: Tipos de falla en muestras de concreto patrón y fibrorreforzadas con relación (a/c = 0.70) y 28 días de curado.....	245
Tabla VI.40: Comparación de tipos de falla entre muestras de concreto patrón y fibrorreforzado al 2.00%, con relación (a/c = 0.70) y 28 días de curado.....	246
Tabla VI.41: Verificación de la validez de los resultados del ensayo de resistencia a la tracción de las muestras de concreto con 7 días de curado.....	248
Tabla VI.42: Verificación de la validez de los resultados del ensayo de resistencia a la tracción de las muestras de concreto con 28 días de curado.....	249
Tabla VI.43: Resumen de resultados de resistencia a la tracción promedio (en muestras de concreto con 7 días de curado).	249
Tabla VI.44: Resistencia a la tracción promedio (%) en función de la resistencia a la tracción promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 7 días de curado).....	250
Tabla VI.45: Incremento de la resistencia a la tracción promedio (%) en función de la resistencia a la tracción promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 7 días de curado).	252
Tabla VI.46: Resumen de resultados de resistencia a la tracción promedio (en muestras de concreto con 28 días de curado).	253
Tabla VI.47: Resistencia a la tracción promedio (%) en función de la resistencia a la tracción promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 28 días de curado).....	253
Tabla VI.48: Incremento de la resistencia a la tracción promedio (%) en función de la resistencia a la tracción promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 28 días de curado).	255
Tabla VI.49: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado de relación a/c = 0.60 con 7 días de curado)	258
Tabla VI.50: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado de relación a/c = 0.60 con 28 días de curado)	259
Tabla VI.51: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado de relación a/c = 0.65 con 7 días de curado)	263
Tabla VI.52: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado de relación a/c = 0.65 con 28 días de curado)	264

Tabla VI.53: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado de relación a/c = 0.70 con 7 días de curado)	268
Tabla VI.54: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado de relación a/c = 0.70 con 28 días de curado)	269
Tabla VI.55: Tabla resumen de caracterización de fallas (en probetas ensayadas a tracción indirecta) en muestras con relación a/c=0.60.....	278
Tabla VI.56: Tabla resumen de caracterización de fallas (en probetas ensayadas a tracción indirecta) en muestras con relación a/c=0.65.....	284
Tabla VI.57: Tabla resumen de caracterización de fallas (en probetas ensayadas a tracción indirecta) en muestras con relación a/c=0.70.....	290
Tabla VI.58: Verificación de la validez de los resultados del ensayo de resistencia a la flexión de las muestras de concreto con 28 días de curado.	292
Tabla VI.59: Resumen de resultados de módulo de rotura (resistencia a la flexión) promedio (en muestras de concreto con 28 días de curado).	293
Tabla VI.60: Módulo de rotura promedio (%) en función del módulo de rotura promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 28 días de curado).	293
Tabla VI.61: Incremento del módulo de rotura (resistencia a la flexión) promedio (%) en función del módulo de rotura promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 28 días de curado).	295
Tabla VI.62: Datos de módulo de rotura (muestras con relación a/c=0.60, patrón y fibrorreforzadas al 1.00%)	299
Tabla VI.63: Datos para el cálculo de D_{mr} , SD_{mr} y $T = D_{mr}/nSD_{mr}$ (muestras con relación a/c=0.60, patrón y fibrorreforzadas al 1.00%).....	300
Tabla VI.64: Datos de módulo de rotura (muestras con relación a/c=0.65, patrón y fibrorreforzadas al 1.00%)	302
Tabla VI.65: Datos para el cálculo de D_{mr} , SD_{mr} y $T = D_{mr}/nSD_{mr}$ (muestras con relación a/c=0.65, patrón y fibrorreforzadas al 1.00%).....	303
Tabla VI.66: Datos de módulo de rotura (muestras con relación a/c=0.70, patrón y fibrorreforzadas al 1.00%)	305
Tabla VI.67: Datos para el cálculo de D_{mr} , SD_{mr} y $T = D_{mr}/nSD_{mr}$ (muestras con relación a/c=0.70, patrón y fibrorreforzadas al 1.00%).....	306
Tabla VI.68: Fotografías de planos transversales de falla en vigas con relación (a/c=0.60)	310
Tabla VI.69: Fotografías de planos transversales de falla en vigas con relación (a/c=0.65)	311

Tabla VI.70: Fotografías de planos transversales de falla en vigas con relación ($a/c=0.70$)	312
Tabla VII.1: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación $a/c =0.60$	316
Tabla VII.2: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación $a/c =0.65$	322
Tabla VII.3: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación $a/c =0.70$	328
Tabla VII.4: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación $a/c =0.60$	334
Tabla VII.5: Datos previos para el análisis de regresión cúbica, de los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación $a/c =0.60$	340
Tabla VII.6: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación $a/c =0.65$	343
Tabla VII.7: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación $a/c =0.70$	349
Tabla VII.8: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de la pérdida porcentual del asentamiento o slump versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación $a/c =0.60$	355
Tabla VII.9: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de la pérdida porcentual del asentamiento o slump versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación $a/c =0.65$	361
Tabla VII.10: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de la pérdida porcentual del asentamiento o slump versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación $a/c =0.70$	367
Tabla VII.11: Tabla para el diseño del concreto fibrorreforzado con fibra sintética Sika Cem1-Fiber.	374

Tabla VII.12: Dosificación (ejemplo) por metro cúbico de “concreto base de diseño”	376
Tabla VII.13: Datos para el diseño del concreto fibrorreforzado al 0.74% y una relación a/c = 0.63.	377
Tabla VII.14: Dosificación por metro cúbico del concreto fibrorreforzado con fibra sitetica sika cem1-fiber al 0.74% (respecto al peso del cemento).	379

LISTA DE FIGURAS

Figura II-1: Distribución porcentual de los materiales predominantes en pisos de las edificaciones a nivel nacional.....	37
Figura II-2: Distribución porcentual de los materiales predominantes en paredes exteriores de edificaciones a nivel nacional	38
Figura II-3: Distribución porcentual de los materiales predominantes en techos de edificaciones a nivel nacional	39
Figura II-4: Esquema referencial de un diagrama de esfuerzo – deformación (fases elástica, plástica y ruptura)	40
Figura II-5: Falla frágil o explosiva de una probeta de concreto simple	41
Figura II-6: (a) Presentación en bolsa comercial de 100g de fibra sintética SikaCem-1 Fiber (b) Contenido de dos bolsas comerciales de 100g de fibra sintética SikaCem-1 Fiber	42
Figura II-7: Expansión mundial de la técnica de construcción con tierra cruda.	45
Figura II-8: Mecanismo de generación de grietas por contracción plástica.	46
Figura II-9: Fibra ondulada metálica.....	47
Figura II-10: Fibra sintética de polipropileno	47
Figura II-11: Fibra de vidrio cortada	48
Figura II-12: Fibra natural de coco	48
Figura II-13: Macrofibra metálica vs Microfibra de polipropileno.	49
Figura II-14: Gráfica esfuerzo vs deformación referencial del concreto fibrorreforzado vs sin reforzar.....	50
Figura III-1: Presentación comercial de arena gruesa en saco de 40 kg.....	51
Figura III-2: Proceso de cuarteo para obtención de muestras representativas de agregado fino.	52
Figura III-3: Peso en balanza de muestra de 10.00 kg de agregado fino.	53
Figura III-4: Proceso de secado de muestras en horno eléctrico a la temperatura de 110 °C.	53
Figura III-5: Peso en balanza de muestra seca de 9.96 kg de agregado fino.....	54
Figura III-6: Recipiente más muestra de agregado fino en estado suelto (sin compactar).	55
Figura III-7: Peso del recipiente normalizado de volumen nominal (1/10 pie ³) + muestra de agregado fino en estado suelto (sin compactar).	56

Figura III-8: Recipiente más muestra de agregado fino en estado compactado.....	57
Figura III-9: Peso del recipiente normalizado de volumen nominal (1/10 pie ³) + muestra de agregado fino en estado compactado.	58
Figura III-10: Muestra de agregado fino saturado, extendida sobre superficie plana no absorbente.	59
Figura III-11: Muestra de agregado fino en estado saturado superficialmente seco.	60
Figura III-12: Muestra de 500g de agregado fino en estado saturado superficialmente seco.	60
Figura III-13: Lectura de peso de picnómetro vacío.	61
Figura III-14: Procedimiento de llenado de picnómetro.	62
Figura III-15: Picnómetro lleno hasta marca graduada.....	62
Figura III-16: Peso del picnómetro más agregado superficialmente seco más agua.	63
Figura III-17: Secado en horno de la muestra durante 24 horas a una temperatura de 110°C.	63
Figura III-18: Peso de la muestra seca en horno incluido recipiente metálico.	64
Figura III-19: Muestra de agregado fino seco.	66
Figura III-20: Colocación de la muestra de agregado fino en los tamices normalizados.	66
Figura III-21: Agregado fino retenido en la base fondo del tamiz.	67
Figura III-22: Curva granulométrica del agregado fino ASTM C33.	68
Figura III-23: Presentación comercial de piedra chancada en saco de 40 kg	69
Figura III-24: Proceso de cuarteo para obtención de muestras representativas de agregado fino.	70
Figura III-25: Peso en balanza de muestra de 15.00 kg de agregado grueso.	71
Figura III-26: Proceso de secado de muestras en horno eléctrico a la temperatura de 110 °C.	71
Figura III-27: Peso en balanza de muestra seca de 14.93 kg de agregado grueso.....	72
Figura III-28: Recipiente normalizado de volumen nominal (1/3 pie ³), para ensayo de peso unitario suelto y compactado.....	73
Figura III-29: Proceso de llenado de recipiente de 1/3 pie ³ para ensayo de peso unitario suelto.....	74

Figura III-30: Recipiente más muestra de agregado grueso en estado suelto (sin compactar) al ras del borde del recipiente.	74
Figura III-31: Peso del recipiente normalizado de volumen nominal (1/3 pie ³) + muestra de agregado grueso en estado suelto (sin compactar).	75
Figura III-32: Recipiente más muestra de agregado grueso en estado compactado.....	76
Figura III-33: Peso del recipiente normalizado de volumen nominal (1/3 pie ³) + muestra de agregado grueso en estado compactado.	77
Figura III-34: Muestra de agregado grueso saturado durante 24 horas.....	78
Figura III-35: Muestra de agregado grueso en estado saturado superficialmente seco.	79
Figura III-36: Muestra de 4002.50 g de agregado grueso en estado saturado superficialmente seco.....	79
Figura III-37: Lectura de peso de canastilla vacía sumergida.	80
Figura III-38: Peso de muestra más canastilla sumergida en agua.	80
Figura III-39: Peso de muestra de agregado grueso en estado seco más recipiente.....	81
Figura III-40: Colocación de la muestra de agregado grueso en los tamices normalizados.	82
Figura III-41: Curva granulométrica del agregado grueso ASTM C33.	84
Figura III-42: Presentación comercial del Cemento Sol Portland TIPO I en saco de 42.5 kg.....	85
Figura III-43: Presentación comercial de SikaCem-1 Fiber en bolsa de 100g.....	86
Figura III-44: Presentación comercial de aditivo SikaCem-Plastificante en envase PET de 4 litros.....	87
Figura IV-1: Muestra de concreto para el ensayo de Asentamiento	111
Figura IV-2: Lectura de asentamiento en muestra de concreto fresco.	112
Figura IV-3: Peso de recipiente normalizado de volumen nominal (1/3 pie ³), para el ensayo de “Peso unitario” de concreto fresco	113
Figura IV-4: Peso del recipiente de volumen nominal (1/3 pie ³) + muestra de concreto fresco compactado.	114
Figura IV-5: Fabricación y curado de probetas de concreto.....	117
Figura IV-6: Muestra de probetas de concreto secando al ambiente.....	118
Figura IV-7: Medición de: (a) Altura de probeta y	118

Figura IV-8: Ensayo de compresión simple en probeta de concreto.....	119
Figura IV-9: Fuerza máxima en kilogramos aplicada en compresión axial a la probeta de concreto	119
Figura IV-10: Fallas tipificadas en probetas de concreto, para el ensayo de resistencia a la compresión.	120
Figura IV-11: Ensayo de tracción por compresión diametral en probeta de concreto.....	121
Figura IV-12: Fuerza máxima en kilogramos aplicada en compresión diametral a la probeta de concreto.....	122
Figura IV-13: Fabricación y curado de vigas de concreto.	123
Figura IV-14: Vigas de concreto secando al ambiente.	124
Figura IV-15: Líneas guía marcadas en las vigas de concreto.	124
Figura IV-16: Diagrama de una configuración apropiada para el ensayo de flexión de vigas concreto, con carga aplicada en el centro de la luz.	125
Figura IV-17: Colocación de viga de concreto para el ensayo de flexión de vigas concreto, con carga aplicada en el centro de la luz.	125
Figura IV-18: Ensayo de flexión de vigas concreto, con carga aplicada en el centro de la luz.....	126
Figura IV-19: Estado de falla de la viga de concreto, ensayada a flexión con carga aplicada en el centro de la luz.....	127
Figura IV-20: Fuerza máxima en kilogramos aplicada a la viga en el centro de luz.....	128
Figura IV-21: Zona de fractura de la viga, ensayada a flexión con carga aplicada en el centro de la luz.	128
Figura V-1: Línea de tendencia exponencial de la Resistencia a la penetración vs Tiempo de fragua, en concreto patrón (a/c) = 0.65.....	148
Figura V-2: Línea de tendencia exponencial de la Resistencia a la penetración vs Tiempo de fragua, en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 0.50%	150
Figura V-3: Línea de tendencia exponencial de la Resistencia a la penetración vs Tiempo de fragua, en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 1.00%	152
Figura V-4: Línea de tendencia exponencial de la Resistencia a la penetración vs Tiempo de fragua, en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 2.00%	154
Figura VI-1: Asentamiento (cm) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.60, 0.65, 0.70)	190

Figura VI-2: Asentamiento en concreto fibrorreforzado al 0.50% – (a/c= 0.65).....	191
Figura VI-3: Asentamiento en concreto fibrorreforzado al 1.00% – (a/c= 0.65).....	192
Figura VI-4: Asentamiento en concreto fibrorreforzado al 2.00% – (a/c= 0.65).....	192
Figura VI-5: Mezclas de concreto patrón y fibrorreforzado al 0.50%, 1.00% y 2.00% – (a/c= 0.65)	193
Figura VI-6: Peso unitario (Kg/m ³) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.60, 0.65, 0.70)	195
Figura VI-7: Tiempo de fragua (min) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.65).....	198
Figura VI-8: Resistencia a la compresión promedio (7 días) (Kg/cm ²) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.60, 0.65, 0.70)	203
Figura VI-9: Resistencia a la compresión promedio (28 días) (Kg/cm ²) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.60, 0.65, 0.70)	207
Figura VI-10: Región de rechazo de la distribución de probabilidad T – de Student	210
Figura VI-11: Distribución de probabilidad de la función T – de Student	221
Figura VI-12: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.60 y 7 días de curado)	227
Figura VI-13: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.60 y 28 días de curado)	228
Figura VI-14: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.65 y 7 días de curado)	232
Figura VI-15: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.65 y 28 días de curado)	233
Figura VI-16: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.70 y 7 días de curado)	237
Figura VI-17: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.70 y 28 días de curado)	238
Figura VI-18: Resistencia a la tracción promedio (7 días) (Kg/cm ²) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.60, 0.65, 0.70)	251

Figura VI-19: Resistencia a la tracción promedio (28 días) (Kg/cm ²) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.60, 0.65, 0.70)	254
Figura VI-20: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.60 y 7 días de curado)	260
Figura VI-21: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.60 y 28 días de curado)	261
Figura VI-22: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.65 y 7 días de curado)	265
Figura VI-23: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.65 y 28 días de curado)	266
Figura VI-24: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.70 y 7 días de curado)	270
Figura VI-25: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.70 y 28 días de curado)	271
Figura VI-26: Fallas en probetas patrón con relación (a/c = 0.60), con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).....	274
Figura VI-27: Fallas en probetas con relación (a/c = 0.60) fibrorreforzadas al 0.50%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).	275
Figura VI-28: Fallas en probetas con relación (a/c = 0.60) fibrorreforzadas al 1.00%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).	276
Figura VI-29: Fallas en probetas con relación (a/c = 0.60) fibrorreforzadas al 2.00%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).	277
Figura VI-30: Fallas en probetas con relación (a/c = 0.65) patrón, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).....	280
Figura VI-31: Fallas en probetas con relación (a/c = 0.65) fibrorreforzadas al 0.50%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).	281
Figura VI-32: Fallas en probetas con relación (a/c = 0.65) fibrorreforzadas al 1.00%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).	282
Figura VI-33: Fallas en probetas con relación (a/c = 0.65) fibrorreforzadas al 2.00%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).	283
Figura VI-34: Fallas en probetas con relación (a/c = 0.70) patrón, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).....	286

Figura VI-35: Fallas en probetas con relación (a/c = 0.70) fibrorreforzadas al 0.50%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).	287
Figura VI-36: Fallas en probetas con relación (a/c = 0.70) fibrorreforzadas al 1.00%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).	288
Figura VI-37: Fallas en probetas con relación (a/c = 0.70) fibrorreforzadas al 2.00%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).	289
Figura VI-38: Módulo de rotura promedio (28 días) (Kg/cm ²) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.60, 0.65, 0.70)	294
Figura VI-39: Vigas con relación (a/c=0.60) una vez finalizado el ensayo de módulo de rotura.	308
Figura VI-40: Vigas con relación (a/c=0.65) una vez finalizado el ensayo de módulo de rotura.	309
Figura VI-41: Vigas con relación (a/c=0.70) una vez finalizado el ensayo de módulo de rotura.	309
Figura VI-42: Desarrollo de los esfuerzos normales en el ensayo de Módulo de Rotura	313
Figura VII-1: Grafica de $YC(0.60) = fC(0.60)X = 15.7320(X) - 0.4483$	318
Figura VII-2: Grafica de $YC(0.60) = gC(0.60)X = 5.3797(X)^2 + 10.3523X + 0.0000$	320
Figura VII-3: Grafica de $YC(0.65) = fC(0.65)X = 22.8964(X) - 0.7959$	324
Figura VII-4: Grafica de $YC(0.65) = gC(0.65)X = 9.5508(X)^2 + 13.3456X + 0.0000$	326
Figura VII-5: Grafica de $YC(0.70) = fC(0.70)X = 21.5052X + 0.0093$	330
Figura VII-6: Grafica de $YC(0.70) = gC(0.70)X = -0.1114(X)^2 + 21.6166X + 0.0000$	332
Figura VII-7: Grafica de $YT(0.60) = fT(0.60)X = 3.4520(X) - 0.3588$	336
Figura VII-8: Grafica de $YT(0.60) = gT(0.60)X = 4.3053(X)^2 - 0.8533X + 0.0000$	338
Figura VII-9: Grafica de $YT(0.60) = hT(0.60)X = 5.7405X^3 - 4.3053X^2 + 2.0169X + 0.0000$	341
Figura VII-10: Grafica de $YT(0.65) = fT(0.65)X = 7.1763(X) - 0.2371$	345

Figura VII-11: Grafica de $YT(0.65) = gT(0.65)X = 2.8457(X)^2 + 4.3306X + 0.0000$	347
Figura VII-12: Grafica de $YT(0.70) = fT(0.70)X = 15.5377(X) - 1.0942$	351
Figura VII-13: Grafica de $YT(0.70) = gT(0.70)X = 13.1303(X)^2 + 2.4074X + 0.0000$	353
Figura VII-14: Grafica de $YA(0.60) = fA(0.60)X = 66.0000X + 3.3333$	357
Figura VII-15: Grafica de $YA(0.60) = gA(0.60)X = -40.0000(X)^2 + 106.0000X + 0.0000$	359
Figura VII-16: Grafica de $YA(0.65) = fA(0.65)X = 63.0000X + 2.8333$	363
Figura VII-17: Grafica de $YA(0.65) = gA(0.65)X = -34.0000(X)^2 + 97.0000X + 0.0000$	365
Figura VII-18: Grafica de $YA(0.70) = fA(0.70)X = 58.0000X + 2.3333$	369
Figura VII-19: Grafica de $YA(0.70) = gA(0.70)X = -28.0000(X)^2 + 86.0000X + 0.0000$	371

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

MF = Modulo de finura

MF_{fino} = Modulo de finura del agregado fino

MF_{grueso} = Modulo de finura del agregado grueso

$MF_{combinación}$ = Modulo de finura de la combinación de agregados

(a/c) = Relacion agua – cemento

$V_{cemento}$ = Volumen de cemento

V_{agua} = Volumen de agua

V_{aire} = Volumen de aire

$V_{Total\ de\ agregados}$ = Volumen total de agregados

$V_{Agregado\ fino}$ = Volumen del agregado fino

$V_{Agregado\ grueso}$ = Volumen del agregado grueso

$W_{cemento}$ = Peso de cemento

$\gamma_{cemento}$ = Densidad del cemento

$V_{Aditivo\ plastificante}$ = Voumen de aditivo plastificante

Y_p = Resistencia a la penetración en psi

X_F = Tiempo de fragua en minutos

X_{500} = Tiempo de fragua inicial correspondiente a una
resistencia a la penetración de 500 Psi

X_{4000} = Tiempo de fragua final correspondiente a una
resistencia a la penetración de 4000 Psi

$\overline{f'c}$ = Resistencia a la compresión promedio de la muestra de concreto

$f'c_i$ = Resistencia a la compresión del concreto en la i – ésima probeta

n = Número de elementos de una muestra

σ_c = Desviación típica de la resistencia a la compresión del concreto

$C.V._c$ (%) = Coeficiente de variación de la resistencia a la compresión

$\overline{T'c}$ = Resistencia a la tracción promedio de la muestra de concreto

$T'c_i$ = Resistencia a la tracción del concreto en la i – ésima probeta

σ_T = Desviación típica de la resistencia a la tracción del concreto

$C.V._T$ (%) = Coeficiente de variación de la resistencia a la tracción

\overline{Mr} = Módulo de rotura promedio de la muestra de concreto

Mr_i = Módulo de rotura del concreto en la i – ésima viga

σ_M = Desviación típica del módulo de rotura del concreto

$C.V._M$ (%) = Coeficiente de variación del módulo de rotura

T = Distribucion T – de Student ó estadístico T

\overline{D} = Media muestral de la diferencia (de resistencia ala compresión)
entre dos muestras pareadas

S_D = Desviación típica muestral de las diferencia (de resistencia ala compresión)
entre dos muestras pareadas

\overline{Dmr} = Media muestral de la diferencia (de modulo de rotura)
entre dos muestras pareadas

S_{Dmr} = Desviación típica muestral de las diferencia (de modulo de rotura)
entre dos muestras pareadas

$n - 1$ = Grados de libertad de la distribución T – de Student

μ_D = Media poblacional de la diferencia entre dos muestras

H_0 y H_1 = Hipótesis estadísticas

α = Nivel de significancia

$t_{\frac{\alpha}{2}}$ = Valor de estadístico T para el nivel de significancia α

$R.C$ = Región critica o región de rechazo para prueba de hipótesis

γ = Nivel de confianza

t_0 = Valor de estadístico T para el calculo del intervalo de confianza

E = Error del intervalo de confianza

L_I = Limite inferior del intervalo de confianza

L_S = Limite superior del intervalo de confianza

μ = Representación de la media poblacional

\overline{E}_7 = Error promedio de los intervalos de confianza en las muestras con 7 días de curado

\overline{E}_{28} = Error promedio de los intervalos de confianza en las muestras con 28 días de curado

$F'c$ = Resistencia a la compresión del concreto

$T'c$ = Resistencia a la tracción del concreto

Mr = Módulo de rotura

$Y_{C(a/c)}$ = Incrementos porcentuales de resistencia a la compresión promedio para una relación (a/c) dada

$Y_{T(a/c)}$ = Incrementos porcentuales de resistencia a la tracción promedio para una relación (a/c) dada

$Y_{A(a/c)}$ = Perdida porcentual del asentamiento promedio para una relación (a/c) dada

X = Dosificación porcentual de fibra sintética Sika Cem1 – fiber

$f_{C \text{ ó } T(a/c)}(X)$ = Función de aproximación de los Incrementos porcentuales de resistencia a la compresión o tracción promedio para una relación (a/c) dada

$f_{A(a/c)}(X)$ = Función de aproximación de la perdida porcentual del asentamiento promedio para una relación (a/c) dada

$A, B, C, D, E, F, G, H, I_{C \text{ ó } T \text{ ó } A(a/c)}$ = Constantes para regresión polinómica para una relación (a/c) dada

CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN

La presente tesis estudió y analizó el impacto de la de fibra sintética sobre las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, entre dichas propiedades estudiadas se encuentran: la trabajabilidad o asentamiento, el peso unitario, el tiempo de fragua, la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción por compresión diametral y el módulo de rotura (resistencia a la flexión).

Se realizó una comparación entre las propiedades del concreto fibrorreforzado y el concreto patrón, con la finalidad de identificar la variación, cuantitativa y cualitativa, de las propiedades del concreto fibrorreforzado con respecto al patrón, para posteriormente elaborar una metodología de diseño del concreto fibrorreforzado.

Se usaron ensayos de laboratorio en muestras de concreto fresco y endurecido, cómo instrumento para la medición y recolección de datos sobre las propiedades del concreto patrón y fibrorreforzado, los datos tabulados (de los ensayos) fueron analizados mediante métodos estadísticos y numéricos. Determinándose la incidencia del refuerzo de fibra sintética sobre las propiedades físicas del concreto, seleccionándose entre estas las más trascendentales para su diseño, fabricación y colocación.

Finalmente se planteó una metodología de diseño que, mediante expresiones matemáticas (calculadas por regresión numérica), puede calcular la variación de las propiedades del concreto fibrorreforzado con respecto del concreto patrón, en función de la dosificación de fibra sintética y la relación (a/c) del concreto.

CAPÍTULO II : FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES REFERENCIALES

Dadas sus buenas propiedades de resistencia y durabilidad, la facilidad de su producción en grandes volúmenes y sus costos accesibles de fabricación, el concreto es uno de los materiales de construcción más usados en el país, tanto en la autoconstrucción como en proyectos de gran envergadura particular y estatal, este hecho quedó evidenciado en el último Censo Nacional de Población y Vivienda 2017 (realizado por el INEI) donde se separó la composición estructural de las edificaciones en 3 partes: Pisos, paredes y techos, y se censó los materiales componentes de estos.

Tabla II.1: Materiales predominantes en pisos de las edificaciones a nivel nacional.

Tipo de material predominante en los pisos	Casos	%	Acumulado %
CEMENTO	3 246 505	42.17%	42.17%
TIERRA	2 448 766	31.81%	73.98%
LOSETA, TERRAZOS, CERÁMICOS O SIMILARES	1 236 153	16.06%	90.03%
PARQUET O MADERA PULIDA	391 995	5.09%	95.12%
MADERA	230 639	3.00%	98.12%
LÁMINAS ASFÁLTICAS, VINÍLICOS O SIMILARES	144 412	1.88%	99.99%
OTRO MATERIAL	430	0.01%	100.00%
Total	7 698 900	100.00%	100.00%

Fuente: INEI (Perú 2018). Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017 - Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) – PERÚ. Recuperado de: <http://www.censos2017.inei.gob.pe/redatam>

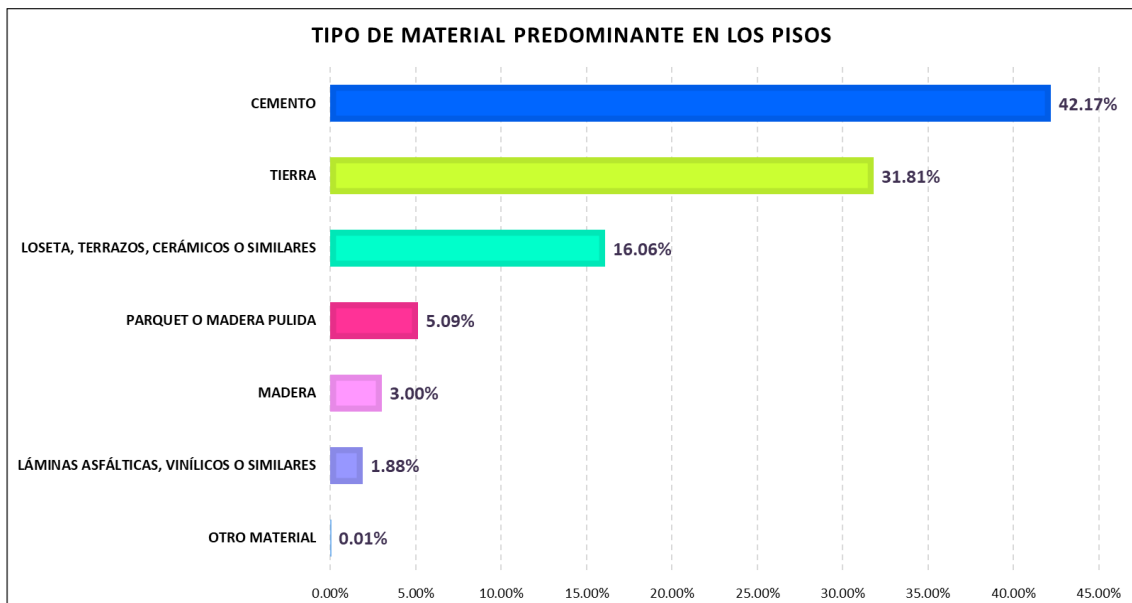


Figura II-1: Distribución porcentual de los materiales predominantes en pisos de las edificaciones a nivel nacional.

Fuente: INEI (Perú 2018). Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017 - Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) – PERÚ. Recuperado de: <http://www.censos2017.inei.gob.pe/redatam>

De la figura II-1, se observa que por lo menos un 42.17% de las edificaciones a nivel nacional cuentan con pisos de concreto, denotando una preferencia de los peruanos por el uso del concreto como material de construcción de pisos.

Tabla II.2: Materiales predominantes en paredes exteriores de edificaciones a nivel nacional.

Tipo de material predominante en las paredes exteriores	Casos	%	Acumulado %
LADRILLO O BLOQUE DE CEMENTO	4 298 274	55.83%	55.83%
ADOBE O TAPIA	2 148 494	27.91%	83.74%
MADERA (PONA, TORNILLO, Etc.)	727 778	9.45%	93.19%
QUINCHA (CAÑA CON BARRO)	164 538	2.14%	95.33%
PIEDRA CON BARRO	77 593	1.01%	96.33%
PIEDRA O SILLAR CON CAL O CEMENTO	43 170	0.56%	96.89%
OTRO MATERIAL (TRIPLAY, CALAMINA, ESTERA, Etc.)	239 053	3.11%	100.00%
Total	7 698 900	100.00%	100.00%

Fuente: INEI (Perú 2018). Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017 - Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) – PERÚ. Recuperado de: <http://www.censos2017.inei.gob.pe/redatam>

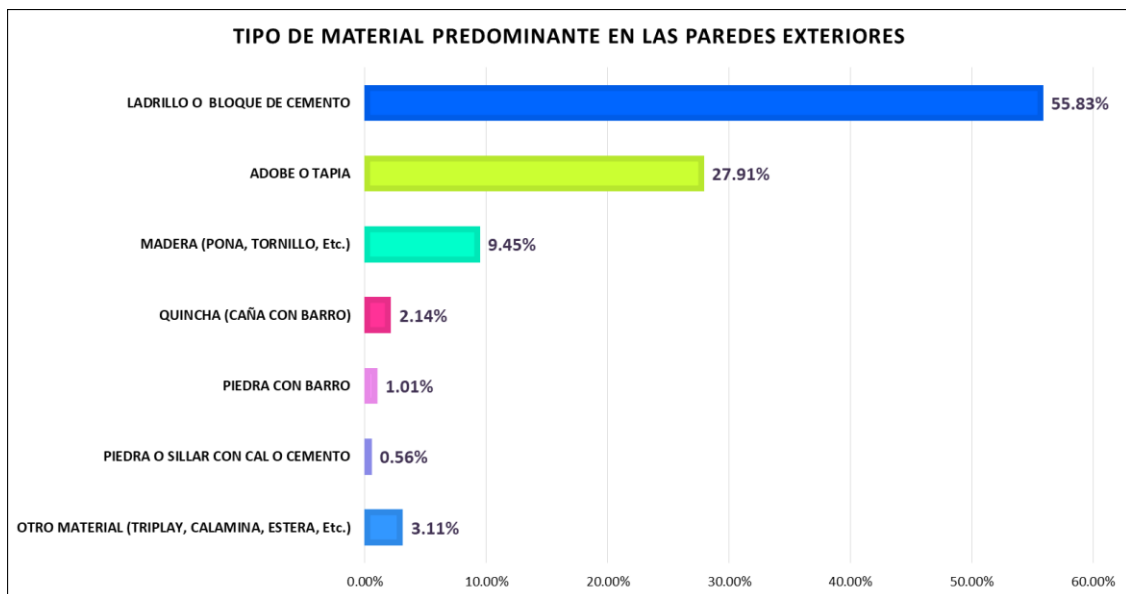


Figura II-2: Distribución porcentual de los materiales predominantes en paredes exteriores de edificaciones a nivel nacional

Fuente: INEI (Perú 2018). Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017 - Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) – PERÚ. Recuperado de: <http://www.censos2017.inei.gob.pe/redatam>

De la figura II-2, se observa que por lo menos un 0.56% de las edificaciones a nivel nacional cuentan con paredes exteriores íntegramente de concreto, denotando una baja preferencia de los peruanos por el uso del concreto como material predominante en sus paredes exteriores, sin embargo cabe señalar que esta cifra va en aumento de acuerdo a la comparación entre los datos censales del 2007 y 2017.

Tabla II.3: Materiales predominantes en techos de edificaciones a nivel nacional.

Tipo de material predominante en los techos	Casos	%	Acumulado %
CONCRETO ARMADO	3 298 280	42.84%	42.84%
PLANCHAS DE CALAMINA, FIBRAS DE CEMENTO	3 016 332	39.18%	82.02%
TEJA	600 274	7.80%	89.82%
CAÑA O ESTERA CON TORTA DE BARRO O CEMENTO	260 969	3.39%	93.21%
PAJA, HOJAS DE PALMERA Y SIMILARES	225 336	2.93%	96.13%
MADERA	154 802	2.01%	98.14%
TRIPLAY / ESTERA / CARRIZO	142 864	1.86%	100.00%
OTRO MATERIAL	43	0.00%	100.00%
Total	7 698 900	100.00%	100.00%

Fuente: INEI (Perú 2018). Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017 - Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) – PERÚ. Recuperado de: <http://www.censos2017.inei.gob.pe/redatam>

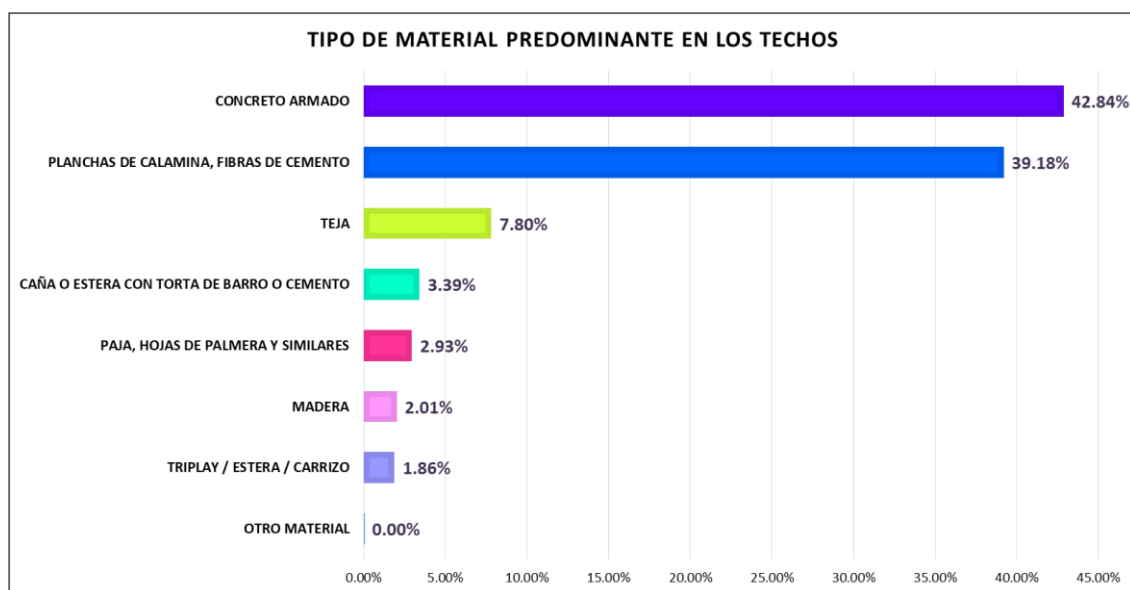


Figura II-3: Distribución porcentual de los materiales predominantes en techos de edificaciones a nivel nacional

Fuente: INEI (Perú 2018). Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017 - Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) – PERÚ. Recuperado de: <http://www.censos2017.inei.gob.pe/redatam>

De la figura II-3, se observa que por lo menos un 42.84% de las edificaciones a nivel nacional cuentan con techos de concreto armado, denotando una preferencia de los peruanos por el uso del concreto como material de construcción de sus losas de techo. La tendencia a lo largo de la historia indica que el uso de concreto como material de construcción va en aumento, debido al crecimiento económico del país y en consecuencia el incremento de los estándares de vida de la población; siendo el concreto para la conciencia colectiva sinónimo de resistencia, durabilidad y seguridad ante los eventos telúricos, esto sumado a sus costos accesibles y fácil proceso de fabricación hacen del concreto un material de construcción muy atractivo para los peruanos.

Resultado de la mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y en ciertos casos un aditivo, la producción del concreto ha ido evolucionando para bien, con la implementación de nuevos aditivos que mejoran sus propiedades mecánicas tanto en estado plástico como endurecido.

Si bien el concreto es reconocido por su buena resistencia a los esfuerzos de compresión, en su contraparte se encuentran:

- 1) Su naturaleza frágil (ver figura II-5), dada la carencia de propiedades dúctiles la **fase de deformación plástica** del concreto es despreciable (ver figura II-4, para el concreto la zona azul es ínfima) generando un mecanismo de falla explosiva apenas se alcance el límite de la **fase de deformación elástica** del concreto (ver figura II-4, punto b <> punto d = punto de ruptura).
- 2) Su bajo módulo de rotura.
- 3) Su limitada resistencia a los esfuerzos de tracción.

Ante esta realidad surge el refuerzo de fibra, fabricada de una diversidad de materiales, con la finalidad de mejorar, en cierta medida, dichas propiedades resistentes.

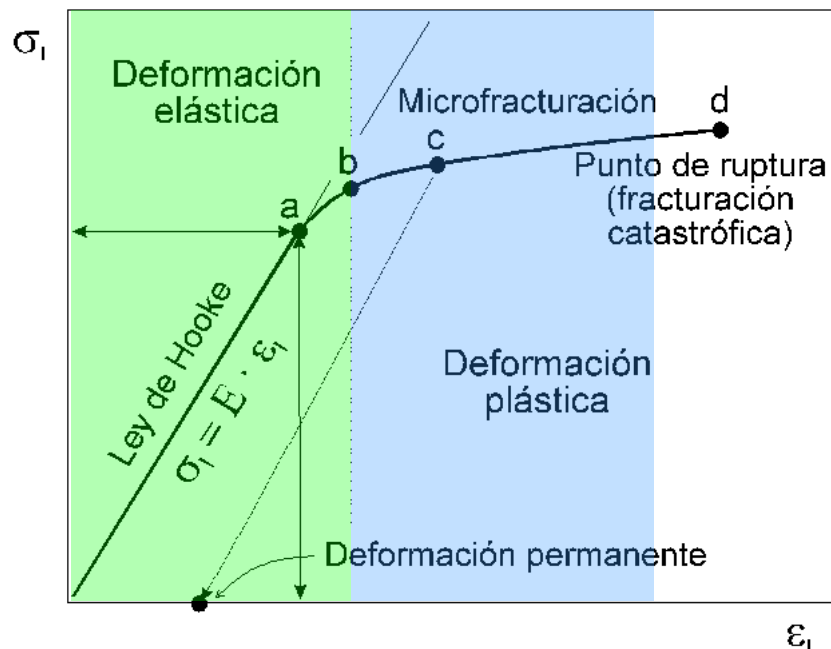


Figura II-4: Esquema referencial de un diagrama de esfuerzo – deformación (fases elástica, plástica y ruptura)

Fuente: Elaboración propia



Figura II-5: Falla frágil o explosiva de una probeta de concreto simple

Fuente: Elaboración propia

Sika AG es una empresa multinacional productora de aditivos químicos para los sectores de construcción y automoción, con presencia en Perú desde 1994, que en la actualidad viene desarrollando una serie de refuerzos de fibra para el concreto; siendo SikaCem-1 Fiber (ver figura II-6) su serie de refuerzos de fibra sintética más comercial y de fácil acceso en el país. Sin embargo las propiedades y dosificación suscritas por Sika, en sus especificaciones técnicas, resultan insuficientes para cuantificar: en qué medida cierta dosificación de fibra sintética, mejora las propiedades de resistencia del concreto. Este hecho hace evidente la necesidad del análisis y estudio del concreto reforzado con fibra sintética, para la elaboración de bibliografía que facilite su uso más tecnificado.



(a)

(b)

Figura II-6: (a) Presentación en bolsa comercial de 100g de fibra sintética SikaCem-1 Fiber (b) Contenido de dos bolsas comerciales de 100g de fibra sintética SikaCem-1 Fiber

Fuente: Elaboración propia

En la última década, la Universidad Nacional de Ingeniería ha ido dando avances en el estudio de las propiedades del concreto reforzado con fibras (metálicas, de polipropileno y naturales) contando con una serie de tesis publicadas, cuyos fundamentos y metodologías fueron estudiados para la realización de la presente investigación.

Sobre las tesis relacionadas con el refuerzo de fibra sintética, realizadas en la Facultad de Ingeniería Civil, se encontraron:

- I. Saenz Cunza, Robel Nau. “Estudio del concreto con fibras de polipropileno y cemento portland tipo I para A/C: 0.60”. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. UNI – FIC. Lima 2019.
- II. Castro Tomas, Fidel Matías. “Efectos de la fibra de polipropileno en concretos con cemento Portland Tipo V”. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. UNI – FIC. Lima 2009.
- III. Rodriguez Cosar, Adolfo Raúl. “Concreto en climas fríos, con uso de fibras de polipropileno e incorporador de aire”. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. UNI – FIC. Lima 2009.

- IV. Valentin Sanchez, Luis Enrique. “Efectos de la fibra de polipropileno de 2” en las propiedades del concreto elaborado con cemento portland tipo I”. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. UNI – FIC. Lima 2000.

Cabe mencionar que estas tesis referidas fueron realizadas sobre fibras sintéticas de las marcas Chema y Fibermesh, mientras que la presente investigación se realizó sobre una fibra sintética de la marca Sika.

Además dichas tesis abarcaron su contenido solo hasta el análisis de los resultados obtenidos en laboratorio, en cambio la presente investigación dio un paso adicional planteando una tentativa de metodología de diseño del concreto fibrorreforzado.

2.2. PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En las últimas décadas a nivel nacional, viene en aumento el uso del refuerzo de fibra sintética, como aditivo físico mejorador de las prestaciones del concreto. Sin embargo las especificaciones técnicas suscritas por el fabricante con respecto a la resistencia del concreto fibrorreforzado son solo cualitativas (ver ANEXO 3), este hecho imposibilita el conocimiento de sus propiedades resistentes a distintas dosificaciones de fibra, a menos que se realicen una serie de ensayos de laboratorio previos.

Ante esta realidad se plantea que mediante el estudio, ensayo y análisis del concreto reforzado con fibra sintética (a distintos niveles de dosificación), se elaboren metodologías y fórmulas de diseño que estimen las propiedades físicas del concreto fibrorreforzado (asentamiento, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y módulo de rotura) en función de las variables:

- I. Dosificación de fibra sintética en la mezcla de concreto.
- II. Propiedades físicas de concreto base o patrón (sin refuerzo).

2.3. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

2.3.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Elaborar una metodología de diseño del concreto reforzado con fibra sintética, en base del análisis cuantitativo y cualitativo de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio.

2.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar las propiedades físicas del concreto reforzado con fibra sintética en estado plástico y endurecido.
- Analizar las propiedades resistentes del concreto reforzado con fibra sintética, con relaciones agua - cemento ($a/c = 0.60, 0.65$ y 0.70) a dosificación variable de fibra sintética.
- Analizar la variación de las propiedades resistentes del concreto reforzado con fibra sintética al (0.50% , 1.00% , 2.00% del peso de cemento), con respecto del concreto patrón.
- Elaborar fórmulas de diseño del concreto reforzado con fibra sintética, en base del análisis cuantitativo de los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio.

2.4. HIPÓTESIS

Con la aplicación de altas dosificaciones de fibra sintética, se espera que el concreto fibrorreforzado en estado endurecido, presente una mejora sustancial en sus propiedades resistentes a la compresión, tracción y flexión. Así mismo se espera que el concreto fibrorreforzado en estado fresco, presente una pérdida drástica de su trabajabilidad.

2.5. MARCO TEÓRICO

Los orígenes del uso de fibras como refuerzo se remontan a la antigüedad, cuando por primera vez hace aproximadamente 8000 años (a. de C.) se usaban fibras vegetales o fibras animales (cabello de animal) para reforzar el adobe o tapial de barro crudo, confiriéndole así propiedades cohesivas que evitaban su agrietamiento temprano.

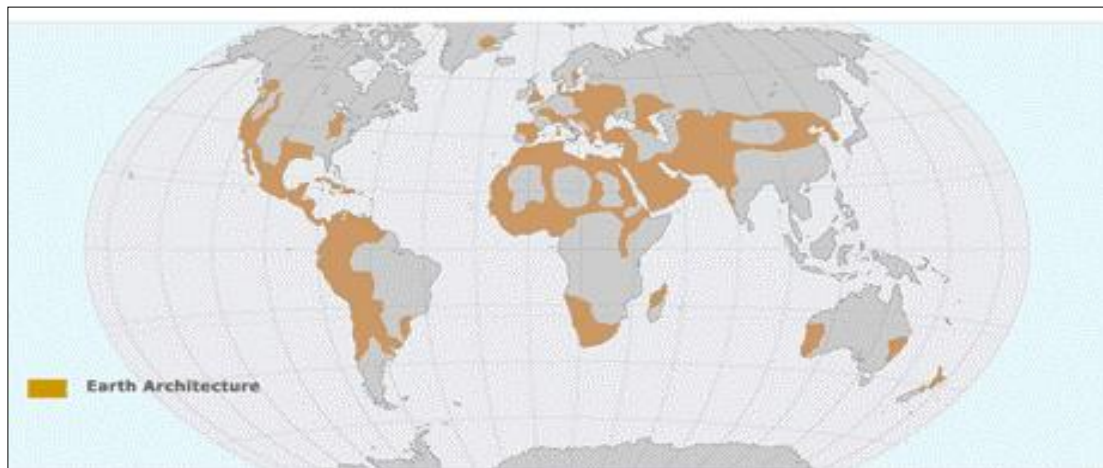


Figura II-7: Expansión mundial de la técnica de construcción con tierra cruda.

Fuente: SITISOLAR (2013). *La construcción con tierra cruda: el adobe y la tapia*. Recuperado de: <http://www.sitisolar.com/la-construccion-con-tierra-cruda-el-adobe-y-la-tapia>.

En la edad moderna, el uso de fibras como refuerzo del concreto nació de la necesidad de controlar el agrietamiento por contracción plástica, causado por una pérdida acelerada del agua en la superficie del concreto antes de que este haya fraguado; durante el proceso de fragua el agua de exudación se traslada a la superficie del concreto, sin embargo la velocidad de evaporación del agua superficial es mayor que la velocidad de reposición del agua de exudación, en consecuencia la superficie del concreto se seca y trata de contraerse generando esfuerzos de tensión en la misma (ver figura II-9), si la superficie del concreto comenzó a fraguar desarrolla cierta resistencia a dichas tensiones y no se produce agrietamiento, en caso contrario se presenta el agrietamiento por contracción plástica. Resultando el refuerzo de fibra sintética un buen agente reductor y controlador de fisuras superficiales por contracción plástica en el concreto, dado que las fibras cosen las fisuras del concreto formando enlaces entre los agregados gruesos lo que posibilita una formación controlada de las fisuras, cabe mencionar que los refuerzos de malla electro-soldada o acero mínimo por temperatura no

tienen resultados óptimos para controlar dichas fisuras. Esta aplicación de las fibras fue el punto de partida para una serie de aplicaciones que se pueden desarrollar con el refuerzo de fibra en el concreto.

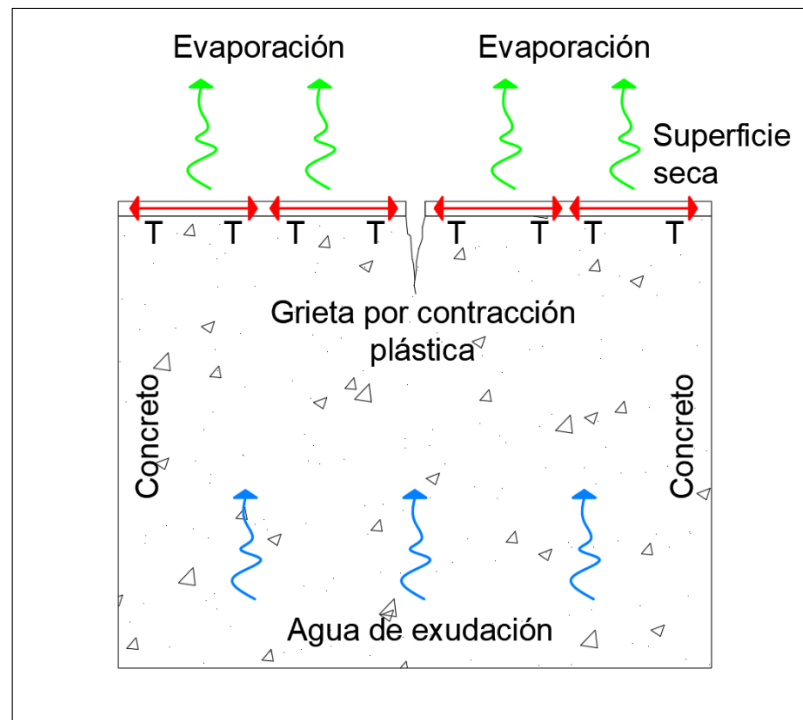


Figura II-8: Mecanismo de generación de grietas por contracción plástica.

Fuente: Elaboración propia

Son diversos los materiales componentes de las fibras, siendo de tipo físico sin ningún efecto en el proceso de hidratación del cemento y con propiedades resistentes al álcali. En la actualidad existen principalmente dos tipos de clasificación para el refuerzo de fibra:

I. Por el tipo de material

Las fibras se pueden clasificar según su tipo de material en:

✓ Fibras metálicas

“Secciones discretas de metal que tienen una relación de aspecto (relación entre la longitud y el diámetro) que va desde 20 hasta 100. Estas fibras son de acero (en general de bajo contenido de carbón)”. (SIKA. “Concreto reforzado con fibras”. Editorial Sika Colombia S.A. Bogotá 2016)



Figura II-9: Fibra ondulada metálica

Fuente: Rock Bolt (2015). Fibra metálica. Recuperado de:
<http://www.rockbolt.com.mx/productos/accesorios-rockbolt/111accesorios/588-fibra-metálica>

✓ **Fibras sintéticas**

“Secciones discretas que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por Acrílico, Aramida, Carbón, Polipropileno, Poli-estireno, Nylon, Poliéster, etc.” (SIKA. “Concreto reforzado con fibras”. Editorial Sika Colombia S.A. Bogotá 2016)



Figura II-10: Fibra sintética de polipropileno

Fuente: SIKA. “Concreto reforzado con fibras”. Editorial Sika Colombia S.A. Bogotá 2016.

✓ **Fibras de vidrio**

“Secciones discretas de fibra de vidrio resistentes al álcali”. (SIKA. “Concreto reforzado con fibras”. Editorial Sika Colombia S.A. Bogotá 2016)



Figura II-11: Fibra de vidrio cortada

Fuente: Alibaba.com (2017). Glass Fibre AR Chopped strands Fiber Glass 12 MM for Concrete materials. Recuperado de: https://spanish.alibaba.com/product-detail/Glass-Fibre-AR-Chopped-strands-Fiber_60364069796.html

✓ **Fibras Naturales**

“Secciones discretas de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Cuyos diámetros varían entre 0.5 y 0.2 mm, con valores de absorción superiores al 12%”.(SIKA. “Concreto reforzado con fibras”. Editorial Sika Colombia S.A. Bogotá 2016)



Figura II-12: Fibra natural de coco

Fuente: Addi Gutiérrez (Lima 19 de mayo 2014). Fibra de coco utilizada para la construcción. Recuperado de: <https://www.nuevamujer.com/bienestar/2014/05/19/fibra-de-coco-utilizada-en-la-construccion.html>

II. Por su funcionalidad

Las fibras se pueden clasificar por su funcionalidad en dos grandes grupos:

- ✓ **Microfibras**, destinadas principalmente a absorber la fisuración inicial del concreto por retracción plástica en sus primeras 24 horas. Su dosificación más frecuente oscila entre 0.03% a 0.15% del volumen del concreto (dosificación extremadamente baja, sin embargo efectiva). Las microfibras más usadas son las de polipropileno cuyos diámetros varían entre 0.023 mm a 0.050 mm, pudiendo ser de monofilamento o fibriladas.
- ✓ **Macrofibras**, destinadas al control de fisuras en estado endurecido y permitiendo el adecuado funcionamiento del concreto fisurado. Su dosificación más frecuente oscila entre 0.2% a 0.8% del volumen del concreto. Las macrofibras más usadas son las sintéticas y las metálicas cuyos diámetros varían entre 0.05 mm a 2.00 mm.



Figura II-13: Macrofibra metálica vs Microfibra de polipropileno.

Fuente: Hernán Xargay, Paula Folino, Nicolás Nuñez y Martín Gómez. "Monitoreo mediante emisión acústica de vigas de hormigón de alta resistencia con y sin fibras expuesto a alta temperatura". Revista Materia ISSN 1517-7076 artículo e-12074, 2018. Buenos Aires, Argentina 2018.

Muy al contrario del concreto sin refuerzo que es considerado un material frágil, pues presenta desprendimiento con la aparición de la primera fisura principal, el concreto fibrorreforzado puede seguir disipando energía sin desprendimiento de material luego de la aparición de la primera fisura principal (esto como

consecuencia del incremento de su capacidad de absorción de energía). Una vez superado el límite elástico, el refuerzo de fibra le permite al concreto absorber un esfuerzo residual en el rango inelástico, disipando la energía mediante su deformación y confiriéndole ciertas propiedades dúctiles al concreto.

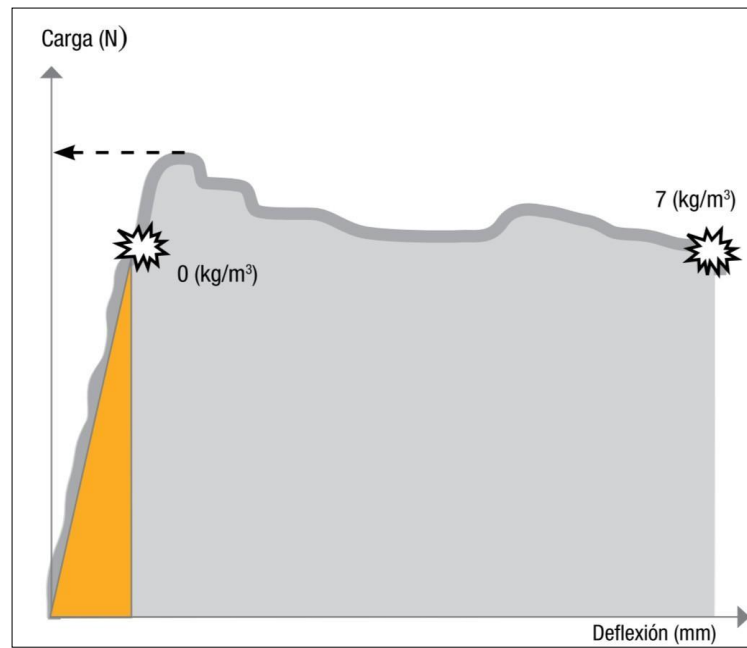


Figura II-14: Gráfica esfuerzo vs deformación referencial del concreto fibrorreforzado vs sin reforzar

Fuente: SIKA. "Concreto reforzado con fibras". Editorial Sika Colombia S.A. Bogotá 2016.

Dentro del grupo de las microfibras se encuentra la fibra sintética SikaCem-1 Fiber que está compuesta por una mezcla de monofilamentos reticulados y enrollados que se distribuyen aleatoriamente dentro de la masa de concreto formando una red tridimensional uniforme. Según sus especificaciones técnicas el concreto reforzado con fibra sintética además de tener controlado el agrietamiento por contracción plástica, a altas dosificaciones de fibra registra un incremento importante en el índice de tenacidad y sus propiedades resistentes a los esfuerzos de tracción y compresión. Es decir a altas dosificaciones de refuerzo de microfibra sintética, esta le aporta al concreto los beneficios de un refuerzo de macrofibra (sobre este último apartado versará la presente Tesis).

CAPÍTULO III : PARÁMETROS INICIALES

3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA DE CONCRETO

3.1.1. DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO FINO

Para la fabricación de las muestras de concreto se usó como agregado fino: arena gruesa comercial en presentación de sacos de 40 kg.



Figura III-1: Presentación comercial de arena gruesa en saco de 40 kg

Fuente: MAESTRO (2018) Arena Gruesa Amarilla 40KG. Recuperado de: <https://www.maestro.com.pe/productos/obra-gruesa/arena-gruesa-amarilla-40-kg>

Cuyas propiedades se muestran a continuación.

3.1.1.1. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO (NTP 339.185)

Para el cálculo del porcentaje total de humedad evaporable de las muestras de agregado fino se usó el siguiente procedimiento:

- ✓ Se redujo una cantidad representativa de agregado fino, conforme lo suscrito en la norma NTP 400.043.



Figura III-2: Proceso de cuarteo para obtención de muestras representativas de agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se extrajeron muestras de 10.00 kg y 12.00 kg de agregado fino en estado natural (húmedo).



Figura III-3: Peso en balanza de muestra de 10.00 kg de agregado fino, cabe resaltar que el peso del recipiente metálico es de 2.03 kg, resultando una lectura total de 12.03 kg en el panel de la balanza.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se secó completamente (durante 24 horas) en horno eléctrico las muestras de 10.00 kg y 12.00 kg de agregado fino.



Figura III-4: Proceso de secado de muestras en horno eléctrico a la temperatura de 110 °C.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se enfriaron (a temperatura ambiente) y pesaron las muestras secas de agregado fino.



Figura III-5: Peso en balanza de muestra seca de 9.96 kg de agregado fino, cabe resaltar que el peso del recipiente metálico es de 2.03 kg, resultando una lectura total de 11.99 kg en el panel de la balanza.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se calculó el contenido de humedad de las muestras de agregado fino con la siguiente fórmula.

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso de muestra húmeda} - \text{Peso de muestra seca}}{\text{Peso de muestra seca}} \times 100\%$$

En la tabla III.1 se muestra el cálculo del contenido de humedad de las muestras de agregado fino.

Tabla III.1: Calculo de contenido de humedad en muestras de agregado fino.

ITEM	UND.	MUESTRAS DE AGREGADO FINO	
		M1	M2
PESO DE LA MUESTRA EN ESTADO NATURAL	g	10000.00	12000.00
PESO DE LA MUESTRA SECA AL HORNO	g	9960.00	11950.00
PESO DEL AGUA PERDIDA	g	40.00	50.00
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0.40%	0.42%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	%	0.41%	

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.1.2. PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO (NTP 400.017)

Para el cálculo del peso unitario del agregado fino en estado suelto (sin compactar) se usó el siguiente procedimiento:

- ✓ Se redujo una cantidad representativa de agregado fino, conforme lo suscrito en la norma NTP 400.043.
- ✓ Se pesó el recipiente normalizado de volumen nominal (1/10 pie³) para ensayos en agregado fino.
- ✓ Se llenó el recipiente normalizado de 1/10 pie³ hasta el rebose, descargando el agregado fino con un cucharon desde una altura menor a 5 cm con respecto al borde superior del recipiente.
- ✓ Se nivelo la superficie del agregado fino al ras del borde del recipiente, con ayuda de una varilla metálica.



Figura III-6: Recipiente más muestra de agregado fino en estado suelto (sin compactar).

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se pesó el recipiente más muestra de agregado fino en estado suelto (sin compactar).



Figura III-7: Peso del recipiente normalizado de volumen nominal ($1/10 \text{ pie}^3$) + muestra de agregado fino en estado suelto (sin compactar).

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se calculó el peso unitario suelto de la muestras de agregado fino con la siguiente formula.

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{\text{Peso}_{\text{Muestra suelta+ recipiente}} - \text{Peso}_{\text{Recipiente vacío}}}{\text{Volumen nominal}_{\text{Recipiente normalizado}}}$$

En la tabla III.2 se muestra el cálculo del peso unitario suelto de las muestras de agregado fino.

Tabla III.2: Cálculo del peso unitario suelto del agregado fino.

ITEM	UND	MUESTRAS DE AGREGADO FINO	
		M1	M2
PESO DE MUESTRA + RECIPIENTE	<i>Kg</i>	5.960	5.965
PESO DEL RECIPIENTE	<i>Kg</i>	1.576	1.576
PESO DE LA MUESTRA	<i>Kg</i>	4.384	4.389
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	<i>pie</i> ³	0.100	0.100
PESO UNITARIO SUELTO	<i>Kg/m</i> ³	1548.19	1549.96
PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO	<i>Kg/m</i> ³	1549.08	

Nota: 1 *pie*³ <> 0.0283168 *m*³.

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.1.3. PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO (NTP 400.017)

Para el cálculo del peso unitario del agregado fino en estado compactado se usó el siguiente procedimiento:

- ✓ Se redujo una cantidad representativa de agregado fino, conforme lo suscrito en la norma NTP 400.043.
- ✓ Se pesó el recipiente normalizado de volumen nominal (1/10 *pie*³) para ensayos en agregado fino.
- ✓ Se llenó el recipiente normalizado de 1/10 *pie*³, descargando y apisonando el agregado fino hasta el rebose.
- ✓ Se niveló la superficie del agregado fino al ras del borde del recipiente, con ayuda de una varilla metálica.



Figura III-8: Recipiente más muestra de agregado fino en estado compactado.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se pesó el recipiente más muestra de agregado fino en estado compactado.

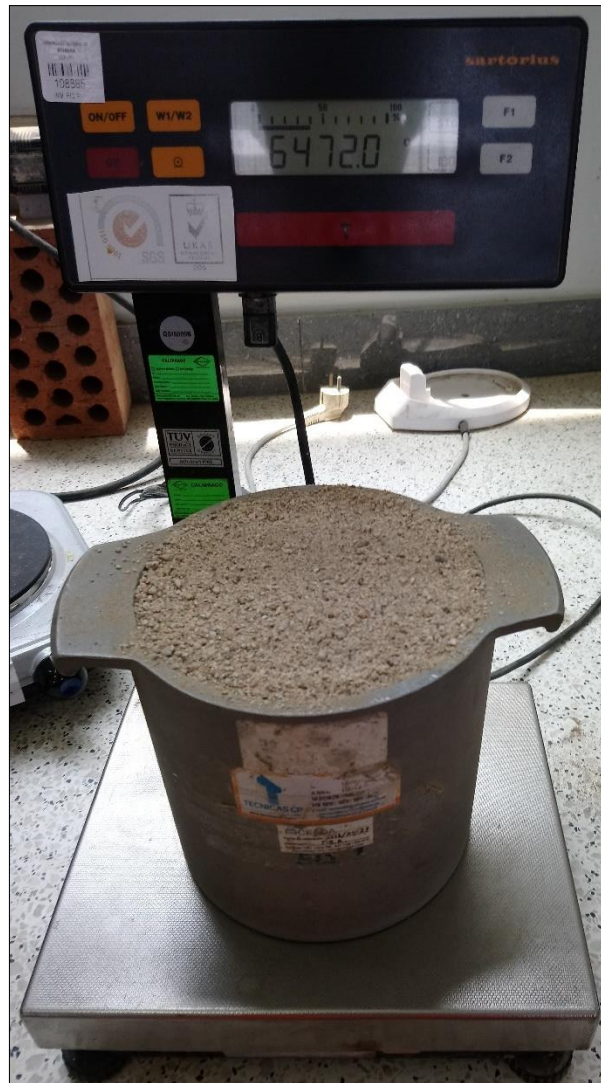


Figura III-9: Peso del recipiente normalizado de volumen nominal ($1/10 \text{ pie}^3$) + muestra de agregado fino en estado compactado.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se calculó el peso unitario compactado de la muestras de agregado fino con la siguiente formula.

$$\text{Peso unitario compactado} = \frac{\text{Peso}_{\text{Muestra compactada+ recipiente}} - \text{Peso}_{\text{Recipiente vacío}}}{\text{Volumen nominal}_{\text{Recipiente normalizado}}}$$

En la tabla III.3 se muestra el cálculo del peso unitario compactado de las muestras de agregado fino.

Tabla III.3: Cálculo del peso unitario compactado del agregado fino.

ITEM	UND	MUESTRAS DE AGREGADO FINO	
		M1	M2
PESO DE MUESTRA + RECIPIENTE	<i>Kg</i>	6.472	6.472
PESO DEL RECIPIENTE	<i>Kg</i>	1.576	1.576
PESO DE LA MUESTRA	<i>Kg</i>	4.896	4.896
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	<i>pie³</i>	0.100	0.100
PESO UNITARIO COMPACTADO	<i>Kg/m³</i>	1729.01	1728.83
PESO UNITARIO COMP. PROMEDIO	<i>Kg/m³</i>	1728.92	

Nota: 1 *pie³* <> 0.0283168 *m³*.

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.1.4. PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (NTP 400.022)

Para el cálculo del peso específico y el incremento de masa del agregado fino en estado saturado superficialmente seco (expresado como porcentaje de la masa seca), se usó el siguiente procedimiento:

- ✓ Se redujo una cantidad representativa de agregado fino, conforme lo suscrito en la norma NTP 400.043.
- ✓ Se dejó saturar la muestra en un recipiente durante 24 horas.
- ✓ Se decantó con cuidado (para evitar perder finos) el exceso de agua de la muestra saturada.
- ✓ Se extendió la muestra saturada sobre una superficie plana no absorbente y se dejó secar a temperatura ambiente durante 24 horas.



Figura III-10: Muestra de agregado fino saturado, extendida sobre superficie plana no absorbente.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se realizaron pruebas alternadas de secado y verificación del estado superficialmente seco del agregado; hasta alcanzar el estado superficialmente seco del agregado fino.



Figura III-11: Muestra de agregado fino en estado saturado superficialmente seco.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se pesaron 500g de agregado fino en estado superficialmente seco.



Figura III-12: Muestra de 500g de agregado fino en estado saturado superficialmente seco.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se obtuvo el peso del picnómetro vacío.

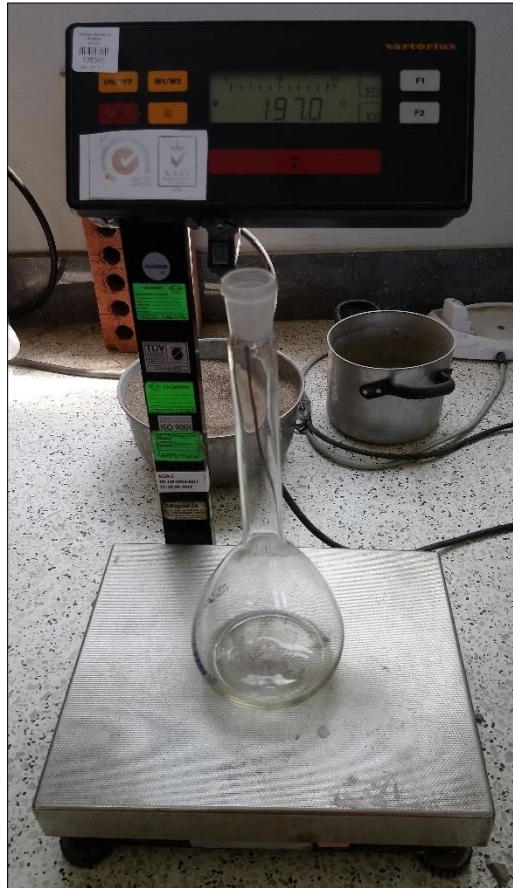


Figura III-13: Lectura de peso de picnómetro vacío.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se introdujo dentro del picnómetro la muestra de 500g de agregado fino superficialmente seca y posteriormente se completó con agua hasta alcanzar la marca graduada del picnómetro (teniendo cuidado de eliminar el aire atrapado entre las partículas de agregado fino).



Figura III-14: Procedimiento de llenado de picnómetro.

Fuente: Elaboración propia.



Figura III-15: Picnómetro lleno hasta marca graduada.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se registró el peso del picnómetro más agregado superficialmente seco más agua.

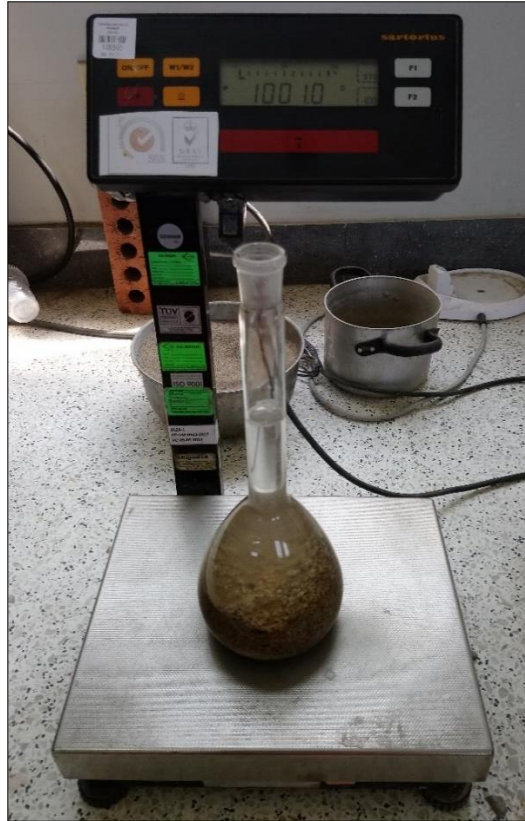


Figura III-16: Peso del picnómetro más agregado superficialmente seco más agua.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se secó la muestra de agregado fino en horno eléctrico durante 24 horas, hasta alcanzar masa constante.



Figura III-17: Secado en horno de la muestra durante 24 horas a una temperatura de 110°C.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se registró el peso de la muestra seca en horno.



Figura III-18: Peso de la muestra seca en horno incluido recipiente metálico.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se calculó el porcentaje de absorción del agregado fino con la siguiente expresión.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso de muestra saturada superficialmente seca} - \text{Peso de muestra seca}}{\text{Peso de muestra seca}} \times 100\%$$

En la tabla III.4 se muestran los parámetros iniciales para el cálculo del porcentaje de absorción y peso específico, y en la tabla III.5 se muestra el cálculo del porcentaje de absorción y peso específico.

Tabla III.4: Parámetros iniciales para el cálculo del porcentaje de absorción y peso específico del agregado fino.

ITEM	UND	MUESTRAS DE AGREGADO FINO	
		M1	M2
PESO DE MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (M)	<i>g</i>	500.00	500.00
PESO DE MUESTRA SSS + PESO DE PICNÓMETRO + PESO DE AGUA	<i>g</i>	1001.00	1001.00
PESO DE PICNÓMETRO	<i>g</i>	197.00	197.00
PESO DE AGUA (W)	<i>g</i>	304.00	304.00
PESO DE MUESTRA SECA AL HORNO (A)	<i>g</i>	495.50	495.00
VOLUMEN DE BALON (V)	<i>cm</i> ³	500.00	500.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla III.5: Cálculo del porcentaje de absorción y peso específico del agregado fino.

ITEM	UND	MUESTRAS DE AGREGADO FINO		
		M1	M2	PROMEDIO
PESO ESPECIFICO DE MASAS $A/(V-W)$	<i>g/cm</i> ³	2.53	2.53	2.53
PESO ESPECIFICO DE MASA SUPERFICIALMENTE SECA $M/(V-W)$	<i>g/cm</i> ³	2.55	2.55	2.55
PESO ESPECIFICO APARENTE $A/((V-W)-(M-A))$	<i>g/cm</i> ³	2.59	2.59	2.59
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN $(M-A) \times 100/A$	%	0.91%	1.01%	0.96%

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.1.5. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO (NTP 400.012 – ASTM C33)

Para el cálculo de la distribución granulométrica del agregado fino (expresado como porcentajes con respecto al peso total de la muestra), se usó el siguiente procedimiento:

- ✓ Se redujo una cantidad representativa de agregado fino, conforme lo suscrito en la norma NTP 400.043.
- ✓ Se seleccionó una muestra de 1 kg de agregado fino en estado seco.



Figura III-19: Muestra de agregado fino seco.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se tamizó la muestra de agregado fino, en los tamices normalizados (3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100) según norma NTP 400.012.



Figura III-20: Colocación de la muestra de agregado fino en los tamices normalizados.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se registró el peso de agregado fino retenido en los tamices normalizados (3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100) según norma NTP 400.012.



Figura III-21: Agregado fino retenido en la base fondo del tamiz.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se calcularon los porcentajes retenidos, acumulados retenidos y los porcentajes que pasan los tamices según se muestra en la tabla III.6.

Tabla III.6: Cálculo porcentajes retenidos, acumulados retenidos y porcentajes que pasan.

TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO CORREGIDO (g)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/8"	0.0	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N°4	3.5	3.49	0.35%	0.35%	99.65%
N°8	151.0	150.70	15.05%	15.40%	84.60%
N°16	303.5	302.89	30.26%	45.66%	54.34%
N°30	260.0	259.48	25.92%	71.59%	28.41%
N°50	165.5	165.17	16.50%	88.09%	11.91%
N°100	76.5	76.35	7.63%	95.71%	4.29%
FONDO	43.0	42.91	4.29%	100.00%	0.00%
TOTAL	1003.0	1001.00			

Nota: La balanza electrónica usada para el registro de los pesos retenidos, presentaba una precisión de ± 0.5 g.

Fuente: Elaboración Propia.

- ✓ Según la norma ASTM C33, se establecen husos granulométricos límites inferior y superior, entre los cuales deben estar comprendido el agregado fino para que sea apto para para la elaboración de concretos.

Tabla III.7: Límites granulométricos del agregado fino.

TAMIZ	ABERTURA DE MALLA (mm)	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
3/8"	9.500	100.00%	100.00%
N°4	4.750	95.00%	100.00%
N°8	2.360	80.00%	100.00%
N°16	1.180	50.00%	85.00%
N°30	0.600	25.00%	60.00%
N°50	0.300	5.00%	30.00%
N°100	0.150	0.00%	10.00%

Fuente: American Society of Testing Materials. "Standard Specification for Concrete Aggregates - ASTM C33". EE.UU. 2007.

- ✓ Se graficó la distribución granulométrica del agregado fino y los husos granulométricos límites, para verificar la validez del agregado para su uso en la fabricación en las muestras de concreto.

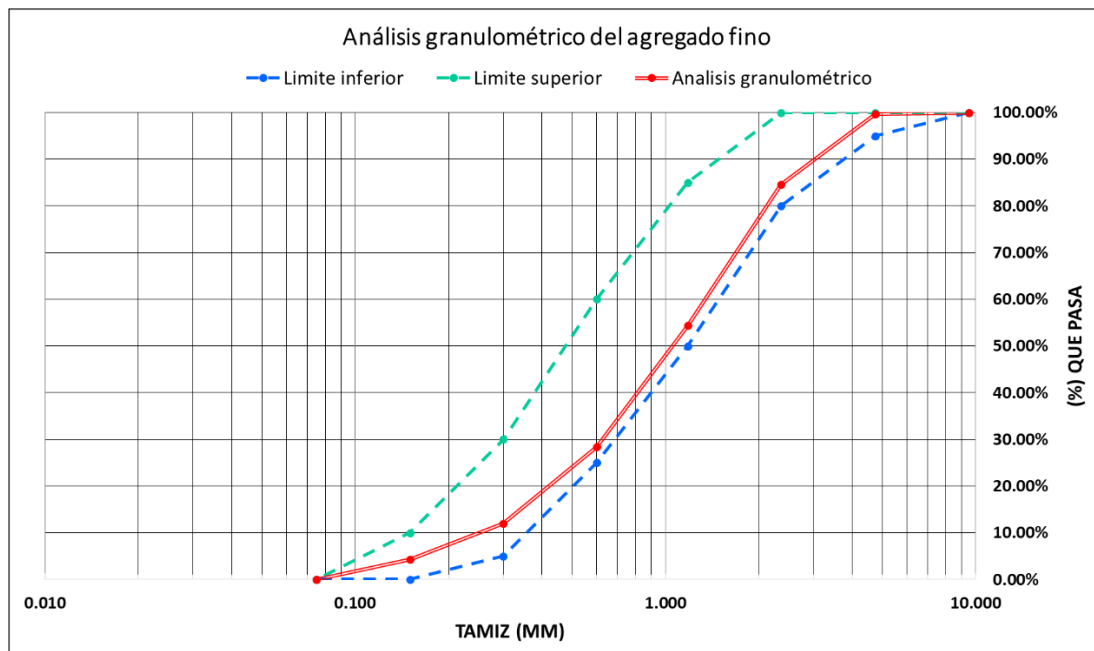


Figura III-22: Curva granulométrica del agregado fino ASTM C33.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura III-22 se verificó que el agregado fino comercial, es válido para la elaboración de las muestras de concreto.

3.1.1.6. MODULO DE FINURA DEL AGREGADO FINO (NTP 400.012)

Para el cálculo del módulo de finura o índice de finura del agregado fino, se usó la siguiente expresión.

$$MF = \frac{1}{100} \times \sum \text{Porcentajes retidos acumulados (1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}$$

✓ Se calculó el módulo de finura del agregado fino:

$$MF = \frac{1}{100} \times (0.00 + 0.35 + 15.40 + 45.66 + 71.59 + 88.09 + 95.71) = 3.17$$

3.1.2. DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO GRUESO

Para la fabricación de las muestras de concreto se usó como agregado grueso: piedra chancada comercial en presentación de sacos de 40 kg.



Figura III-23: Presentación comercial de piedra chancada en saco de 40 kg

Fuente: MAESTRO (2018) Piedra Chancada. Recuperado de: <https://www.maestro.com.pe/productos/obra-gruesa/piedra-chancada-40-kg>

Cuyas propiedades se muestran a continuación.

3.1.2.1. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO (NTP 339.185)

Para el cálculo del porcentaje total de humedad evaporable de las muestras de agregado grueso se usó el siguiente procedimiento:

- ✓ Se redujo una cantidad representativa de agregado grueso, conforme lo suscrito en la norma NTP 400.043.



Figura III-24: Proceso de cuarteo para obtención de muestras representativas de agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se extrajeron muestras de 15.00 kg y 17.00 kg de agregado grueso en estado natural (húmedo).



Figura III-25: Peso en balanza de muestra de 15.00 kg de agregado grueso, cabe resaltar que el peso del recipiente metálico es de 2.29 kg, resultando una lectura total de 17.29 kg en el panel de la balanza.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se secó completamente (durante 24 horas) en horno eléctrico las muestras de 15.00 kg y 17.00 kg de agregado fino.



Figura III-26: Proceso de secado de muestras en horno eléctrico a la temperatura de 110 °C.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se enfriaron (a temperatura ambiente) y pesaron las muestras secas de agregado grueso.



Figura III-27: Peso en balanza de muestra seca de 14.93 kg de agregado grueso, cabe resaltar que el peso del recipiente metálico es de 2.29 kg, resultando una lectura total de 17.22 kg en el panel de la balanza.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se calculó el contenido de humedad de las muestras de agregado grueso con la siguiente fórmula.

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso de muestra húmeda} - \text{Peso de muestra seca}}{\text{Peso de muestra seca}} \times 100\%$$

En la tabla III.8 se muestra el cálculo del contenido de humedad de las muestras de agregado grueso.

Tabla III.8: Cálculo de contenido de humedad en muestras de agregado grueso.

ITEM	UND.	MUESTRAS DE AGREGADO GRUESO	
		M1	M2
PESO DE LA MUESTRA EN ESTADO NATURAL	g	15000	17000
PESO DE LA MUESTRA SECA AL HORNO	g	14930	16920
PESO DEL AGUA PERDIDA	g	70	80
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	0.47%	0.47%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	%	0.47%	

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2.2. PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.017)

Para el cálculo del peso unitario del agregado grueso en estado suelto (sin compactar) se usó el siguiente procedimiento:

- ✓ Se redujo una cantidad representativa de agregado grueso, conforme lo suscrito en la norma NTP 400.043.
- ✓ Se pesó el recipiente normalizado de volumen nominal ($1/3 \text{ pie}^3$), para ensayos en agregado grueso.



Figura III-28: Recipiente normalizado de volumen nominal ($1/3 \text{ pie}^3$), para ensayo de peso unitario suelto y compactado.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se llenó el recipiente de $1/3 \text{ pie}^3$ hasta el rebose, descargando el agregado grueso con un cucharón desde una altura menor a 5 cm con respecto al borde superior del recipiente.



Figura III-29: Proceso de llenado de recipiente de $1/3 \text{ pie}^3$ para ensayo de peso unitario suelto.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se niveló la superficie del agregado grueso al ras del borde del recipiente, con ayuda de una varilla metálica.

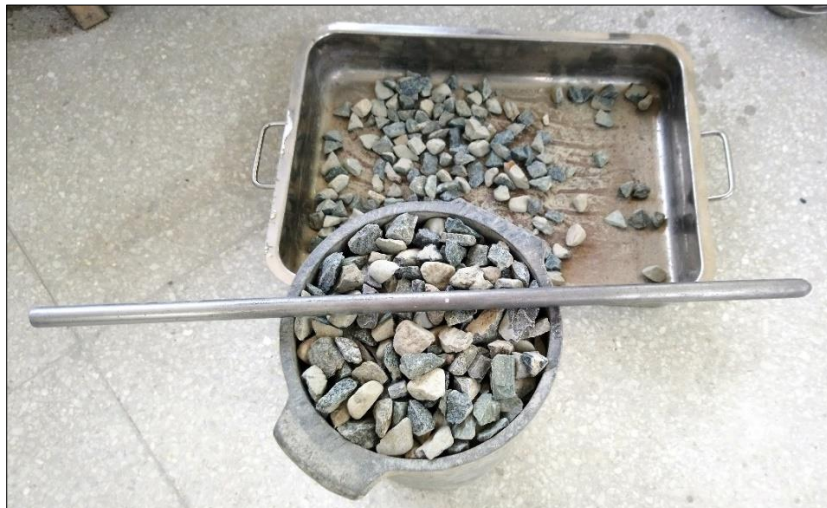


Figura III-30: Recipiente más muestra de agregado grueso en estado suelto (sin compactar) al ras del borde del recipiente.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se pesó el recipiente más muestra de agregado grueso en estado suelto (sin compactar).



Figura III-31: Peso del recipiente normalizado de volumen nominal ($1/3 \text{ pie}^3$) + muestra de agregado grueso en estado suelto (sin compactar).

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se calculó el peso unitario suelto de las muestras de agregado grueso con la siguiente fórmula.

$$\text{Peso unitario suelto} = \frac{\text{Peso}_{\text{Muestra suelta+recipiente}} - \text{Peso}_{\text{Recipiente vacío}}}{\text{Volumen nominal}_{\text{Recipiente normalizado}}}$$

En la tabla III.9 se muestra el cálculo del peso unitario suelto de las muestras de agregado grueso.

Tabla III.9: Cálculo del peso unitario suelto del agregado grueso.

ITEM	UND	MUESTRAS DE AGREGADO GRUESO	
		M1	M2
PESO DE MUESTRA + RECIPIENTE	<i>Kg</i>	18.010	18.000
PESO DEL RECIPIENTE	<i>Kg</i>	4.780	4.780
PESO DE LA MUESTRA	<i>Kg</i>	13.230	13.220
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	<i>pie³</i>	0.333	0.333
PESO UNITARIO SUELTO	<i>Kg/m³</i>	1401.64	1400.58
PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO	<i>Kg/m³</i>	1401.11	

Nota: 1 *pie³* <> 0.0283168 *m³*.

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2.3. PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.017)

Para el cálculo del peso unitario del agregado grueso en estado compactado se usó el siguiente procedimiento:

- ✓ Se redujo una cantidad representativa de agregado grueso, conforme lo suscrito en la norma NTP 400.043.
- ✓ Se pesó el recipiente normalizado de volumen nominal (1/3 *pie³*), para ensayos en agregado grueso.
- ✓ Se llenó el recipiente normalizado de 1/3 *pie³*, descargando y apisonando el agregado grueso hasta el rebose.
- ✓ Se niveló la superficie del agregado grueso al ras del borde del recipiente, con ayuda de una varilla metálica.



Figura III-32: Recipiente más muestra de agregado grueso en estado compactado.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se pesó el recipiente más muestra de agregado grueso en estado compactado.



Figura III-33: Peso del recipiente normalizado de volumen nominal ($1/3 \text{ pie}^3$) + muestra de agregado grueso en estado compactado.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se calculó el peso unitario compactado de la muestras de agregado grueso con la siguiente formula.

$$\text{Peso unitario compactado} = \frac{\text{Peso}_{\text{Muestra compactada+ recipiente}} - \text{Peso}_{\text{Recipiente vacío}}}{\text{Volumen nominal}_{\text{Recipiente normalizado}}}$$

En la tabla III.10 se muestra el cálculo del peso unitario compactado de las muestras de agregado grueso.

Tabla III.10: Cálculo del peso unitario compactado del agregado grueso.

ITEM	UND	MUESTRAS DE AGREGADO GRUESO	
		M1	M2
PESO DE MUESTRA + RECIPIENTE	<i>Kg</i>	19.610	19.600
PESO DEL RECIPIENTE	<i>Kg</i>	4.780	4.780
PESO DE LA MUESTRA	<i>Kg</i>	14.830	14.820
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	<i>pie³</i>	0.333	0.333
PESO UNITARIO COMPACTADO	<i>Kg/m³</i>	1571.15	1570.09
PESO UNITARIO COMP. PROMEDIO	<i>Kg/m³</i>	1570.62	

Nota: 1 *pie³* <> 0.0283168 *m³*.

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2.4. PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.021)

Para el cálculo del peso específico y el incremento de masa del agregado grueso en estado saturado superficialmente seco (expresado como porcentaje de la masa seca), se usó el siguiente procedimiento:

- ✓ Se redujo una cantidad representativa de agregado grueso, conforme lo suscrito en la norma NTP 400.043.
- ✓ Se dejó saturar la muestra en un recipiente durante 24 horas.
- ✓ Se decantó el exceso de agua de la muestra saturada.



Figura III-34: Muestra de agregado grueso saturado durante 24 horas.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se secó con una franela la muestra de agregado grueso saturado en agua, hasta conseguir el estado saturado superficialmente seco.



Figura III-35: Muestra de agregado grueso en estado saturado superficialmente seco.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se pesaron 4002.50 g y 4002.00 g de agregado grueso en estado saturado superficialmente seco.



Figura III-36: Muestra de 4002.50 g de agregado grueso en estado saturado superficialmente seco.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se registró el peso de la canastilla vacía sumergida en agua.



Figura III-37: Lectura de peso de canastilla vacía sumergida.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se registró el peso de la muestra saturada más la canastilla sumergida en agua.



Figura III-38: Peso de muestra más canastilla sumergida en agua.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se registró el peso de la muestra seca en horno durante 48 horas (a 110°C), hasta que se obtuvo una lectura constante.



Figura III-39: Peso de muestra de agregado grueso en estado seco más recipiente.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se calculó el porcentaje de absorción del agregado grueso con la siguiente expresión.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso de muestra saturada superficialmente seca} - \text{Peso de muestra seca}}{\text{Peso de muestra seca}} \times 100\%$$

En la tabla III.11 se muestran los parámetros iniciales para el cálculo del porcentaje de absorción y peso específico, y en la tabla III.12 se muestra el cálculo del porcentaje de absorción y peso específico.

Tabla III.11: Parámetros iniciales para el cálculo del porcentaje de absorción y peso específico del agregado grueso.

ITEM	UND	MUESTRAS DE AGREGADO GRUESO	
		M1	M2
PESO DE MUESTRA SECA AL HORNO (A)	g	3973.50	3974.00
PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (B)	g	4002.00	4002.50
PESO DE LA MUESTRA SATURADA EN AGUA + PESO DE CANASTILLA	g	3453.80	3454.20
PESO DE CANASTILLA	g	913.60	913.60
PESO DE LA MUESTRA SATURADA EN AGUA (C)	g	2540.20	2540.60

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla III. 12: Cálculo del porcentaje de absorción y peso específico del agregado grueso.

ITEM	UND	MUESTRAS DE AGREGADO GRUESO		
		M1	M2	PROMEDIO
PESO ESPECIFICO DE MASAS A/(B-C)	g/cm ³	2.72	2.72	2.72
PESO ESPECIFICO DE MASA SUPERFICIALMENTE SECA B/(B-C)	g/cm ³	2.74	2.74	2.74
PESO ESPECIFICO APARENTE A/(A-C)	g/cm ³	2.77	2.77	2.77
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (B-A)X100/A	%	0.72%	0.72%	0.72%

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2.5. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.012 – ASTM C33)

Para el cálculo de la distribución granulométrica del agregado grueso (expresado como porcentajes con respecto al peso total de la muestra), se usó el siguiente procedimiento:

- ✓ Se redujo una cantidad representativa de agregado grueso, conforme lo suscrito en la norma NTP 400.043.
- ✓ Se seleccionó una muestra de 15 kg de agregado grueso en estado seco.
- ✓ Se tamizó la muestra de agregado grueso, en los tamices normalizados (1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4) según norma NTP 400.012.



Figura III-40: Colocación de la muestra de agregado grueso en los tamices normalizados.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se registró el peso de agregado grueso retenido en los tamices normalizados (1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4) según norma NTP 400.012.
- ✓ Se calcularon los porcentajes retenidos, acumulados retenidos y los porcentajes que pasan los tamices según se muestra en la tabla III.13.

Tabla III.13: Cálculo porcentajes retenidos, acumulados retenidos y porcentajes que pasan.

TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO CORREGIDO (g)	% RETENIDO	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1 1/2"	0.00	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	126.00	126.85	0.85%	0.85%	99.15%
3/4"	7069.50	7116.95	47.45%	48.29%	51.71%
1/2"	7464.50	7514.60	50.10%	98.39%	1.61%
3/8"	146.50	147.48	0.98%	99.37%	0.63%
N4	46.00	46.31	0.31%	99.68%	0.32%
FONDO	47.50	47.82	0.32%	100.00%	0.00%
TOTAL	14900.00	15000.00			

Fuente: Elaboración Propia.

- ✓ Según la norma ASTM C33, se establecen husos granulométricos, entre los cuales deben estar comprendido el agregado grueso para que sea apto para para la elaboración de concretos.

Tabla III.14: Husos granulométricos del agregado grueso.

HUSO	TAMAÑO MAXIMO MONIMAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS									
		50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 1/2 in.)	25 mm (1 in.)	19 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
5	25 mm a 12.5 mm (1 a 1/2 in.)	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (3/4 in. a N° 4)	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 in. a N° 4)	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
89	9.5 mm a 1.18 mm (3/8 in. a N° 16)	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: American Society of Testing Materials. "Standard Specification for Concrete Aggregates - ASTM C33 - 07". EE.UU. 2007.

- ✓ Se seleccionó el Huso 5, para la verificación de la distribución granulométrica del agregado grueso.

Tabla III.15: Límites granulométricos del Huso 5 para agregado grueso.

TAMIZ	ABERTURA DE MALLA (mm)	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
1 1/2"	38.100	100.00%	100.00%
1"	25.400	90.00%	100.00%
3/4"	19.050	20.00%	55.00%
1/2"	12.700	0.00%	10.00%
3/8"	9.525	0.00%	5.00%
N°4	4.750	-	-

Fuente: American Society of Testing Materials. "Standard Specification for Concrete Aggregates - ASTM C33 - 07". EE.UU. 2007.

- ✓ Se graficó la distribución granulométrica del agregado grueso y los husos granulométricos límites, para verificar la validez del agregado para su uso en la fabricación en las muestras de concreto.

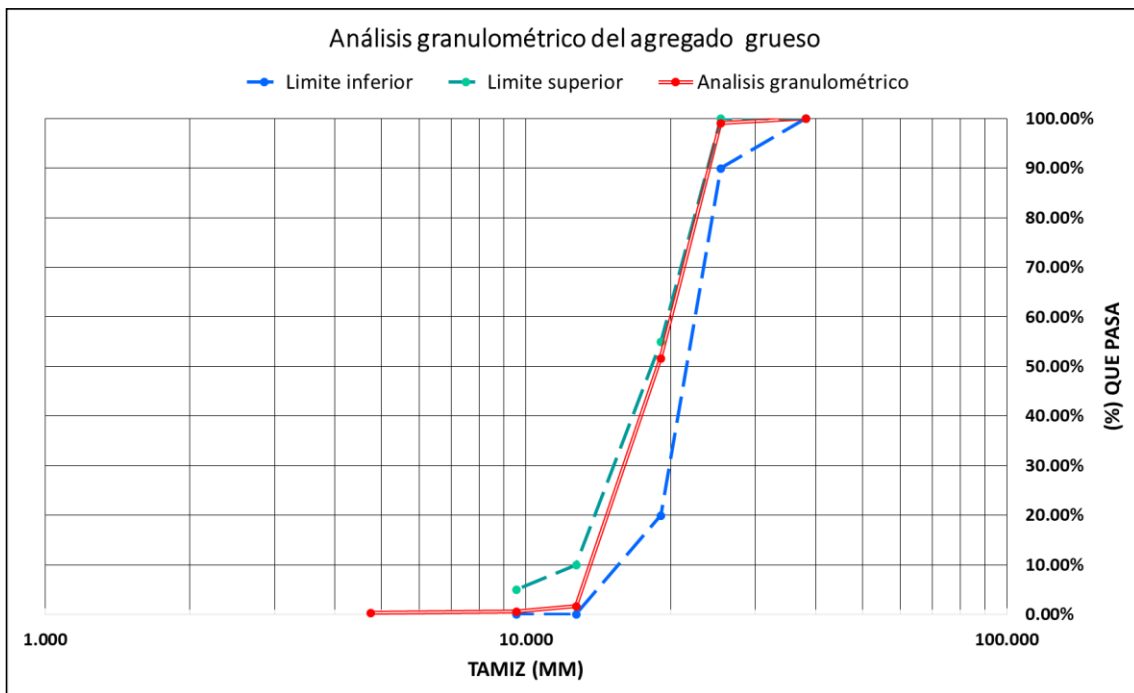


Figura III-41: Curva granulométrica del agregado grueso ASTM C33.

Fuente: Elaboración propia.

De la figura III-41 se verificó que el agregado grueso comercial, es válido para la elaboración de las muestras de concreto.

3.1.2.6. MODULO DE FINURA DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.012)

Para el cálculo del módulo de finura o índice de fineza del agregado grueso, se usó la siguiente expresión.

$$MF = \frac{1}{100} \times \sum \text{Porcentajes retenidos acumulados (1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100)}$$

✓ Se calculó el módulo de finura del agregado grueso:

$$MF = \frac{1}{100} \times (0.00 + 48.29 + 99.37 + 99.68 + 100.00 + 100.00 + 100.00 + 100.00 + 100.00) = 7.47$$

3.1.3. DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO.

Para la fabricación de las muestras de concreto, se usó Cemento Sol Portland TIPO I.



Figura III-42: Presentación comercial del Cemento Sol Portland TIPO I en saco de 42.5 kg

Fuente: MAESTRO (2018) Cemento Sol Portland Tipo 1. Recuperado de: <https://www.maestro.com.pe/productos/obra-gruesa/cemento-sol-portland-tipo-1>

El Cemento Sol Portland TIPO I cumple la Norma Técnica Peruana 334.09 y la Norma Técnica Americana ASTM C150, sus propiedades se muestran a continuación:

Tabla III.16: Propiedades físicas del Cemento Sol Portland TIPO I.

PARÁMETRO	UND	CEMENTO SOL TIPO I	REQUISITO 334.009/ASTM C150
CONTENIDO DE AIRE	%	6.62	Máximo 12%
EXPANSIÓN AUTOCLAVE	%	0.08	Máximo 0.80
SUPERFICIE ESPECÍFICA	cm ² /g	3361.00	Mínimo 2600
DENSIDAD	g/ml	3.12	No especifica

Fuente: UNACEM (Perú 2019). Ficha Técnica CEMENTO SOL. Recuperado de: https://www.unacem.com.pe/?page_id=109

3.1.4. DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA.

Para la fabricación de las muestras de concreto, se usó agua potable de la red de agua de Lima Metropolitana a una temperatura ambiente promedio de 20°C y una densidad de 1g/ml.

3.1.5. DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LA FIBRA SINTÉTICA SikaCem-1 Fiber.

Para la fabricación de las muestras de concreto fibrorreforzado, se usó fibra sintética SikaCem-1 Fiber en presentación comercial de bolsa de 100 g.



Figura III-43: Presentación comercial de SikaCem-1 Fiber en bolsa de 100g

Fuente: MAESTRO (2018) SIKA Cem1-Fiber. Recuperado de: <https://www.maestro.com.pe/productos/obra-gruesa/SIKA-Cem1-Fiber>

SikaCem-1 Fiber, es un refuerzo de fibra sintética (microfibra) de alta tenacidad que evita el agrietamiento por contracción plástica del concreto, está compuesto por una mezcla de monofilamentos reticulados y enrollados que durante la mezcla se distribuyen aleatoriamente dentro de la masa de concreto formando una red tridimensional uniforme, sus propiedades se muestran a continuación:

Tabla III.17: Propiedades físicas de la fibra SikaCem-1 Fiber.

PARÁMETRO	UND	VALOR
MODULO DE ELASTICIDAD	Kg/cm^2	15000.00
ABSORCIÓN DE AGUA	%	< 2.00
ELONGACION DE ROTURA	%	26.00
DENSIDAD	Kg/L	1.17

Fuente: SIKA. "HOJA TÉCNICA SikaCem – 1 Fiber". Editorial Sika Perú S.A. Perú 2016.

3.1.6. DESCRIPCIÓN Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL ADITIVO PLASTIFICANTE SikaCem Plastificante.

Para mejorar la trabajabilidad en la fabricación de las muestras de concreto fibrorreforzado, se usó aditivo plastificante SikaCem - Plastificante en presentación comercial de envase PET de 4 litros.



Figura III-44: Presentación comercial de aditivo SikaCem-Plastificante en envase PET de 4 litros.

Fuente: MAESTRO (2018) SIKA Cem Plastificante. Recuperado de: <https://www.maestro.com.pe/productos/obra-gruesa/SIKA-Cem-Plastificante>

SikaCem Plastificante mejora la trabajabilidad del concreto fresco facilitando su colocación y compactación, disminuye la exudación y aumenta la cohesión interna en el concreto fresco, tendiendo a evitar la segregación de los áridos, sus propiedades se muestran a continuación:

Tabla III.18: Propiedades físicas del aditivo plastificante SikaCem Plastificante.

PARÁMETRO	UND	VALOR
DENSIDAD	kg/L	1.20 +/- 0.01
TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO Y APLICACIÓN	°C	5°- 30°
DOSIFICACIÓN COMO PLASTIFICANTE POR BOLSA DE CEMENTO (42.5 kg)	ml	250.00
DOSIFICACIÓN COMO SUPERPLASTIFICANTE POR BOLSA DE CEMENTO (42.5 kg)	ml	500.00

Fuente: SIKA. "HOJA TÉCNICA SikaCem Plastificante". Editorial Sika Perú S.A. Perú 2016.

3.2. DISEÑOS DE MEZCLA DE CONCRETO.

3.2.1. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ($a/c=0.60$)

A1.RELACION AGUA CEMENTO

La primera relación agua – cemento, elegida para la fabricación y estudio de las muestras de concreto patrón y fibrorreforzado fue:

$$(a/c) = 0.60$$

B1.ESTIMACION DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE

Se usaron las recomendaciones del Comité 211 del ACI para la elección del agua de mezclado y el contenido de aire en la mezcla de concreto, como se muestra a continuación:

Tabla III. 19: Requerimiento aproximado de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregado, según recomendaciones del Comité 211 del ACI.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en lt/m ³ de concreto para los tamaños máximos de agregado grueso y consistencia indicados								
	10 mm (3/8")	12.5 mm (1/2")	20 mm (3/4")	25 mm (1")	40 mm (1 1/2")	50 mm (2")	70 mm (3")	150 mm (6")	
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	-	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%)	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50	0.30	0.20	
CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	-	
Contenido total de aire (%), en funcion del grado de exposición	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: Rivva López, Enrique. "Concreto – Diseño de Mezclas". Fondo editorial ICG. Lima 2010.

En la tabla III.19, tomando una consistencia referencial de (3" – 4") y un tamaño máximo nominal de agregado grueso de 1", se elige la cantidad de agua de mezclado:

$$\text{Agua de mezclado} = 195 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Porcentaje de aire atrapado} = 1.50 \%$$

Nota: Se tomó la decisión de ingresar en la tabla III.19, con el tamaño máximo nominal en lugar del tamaño máximo, dado que la experiencia ingenieril en la elaboración de mezclas de concreto, indica que el agua de mezclado resultaría insuficiente para la trabajabilidad deseada y los fines del estudio.

C1. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

De A1 y B1, se plantea la siguiente expresión:

$$(a/c) = \frac{\text{Agua de mezclado}}{\text{Contenido de cemento}} = 0.60$$

$$\frac{195 \text{ lt/m}^3}{\text{Contenido de cemento}} = 0.60 \text{ lt/kg}$$

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{195}{0.60} \text{ kg}$$

$$\text{Contenido de cemento} = 325 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \langle \rangle 7.65 \text{ bolsas de cemento}$$

D1. ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO (MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS)

Se realizó el cálculo del volumen total de agregados por metro cubico, en la mezcla de concreto.

$$V_{\text{Total de agregados}} = 1 - V_{\text{cemento}} - V_{\text{agua}} - V_{\text{aire}}$$

$$V_{\text{Total de agregados}} = 1 - \frac{W_{\text{cemento}}}{\gamma_{\text{cemento}}} - V_{\text{agua}} - V_{\text{aire}}$$

De A1, B1 y C1 en la ecuación anterior se tiene:

$$V_{Total\ de\ agregados} = 1\ m^3 - \frac{325\ kg}{3120\ \frac{kg}{m^3}} - \frac{195}{1000}m^3 - 0.015 \times 1m^3$$

$$V_{Total\ de\ agregados} = 1\ m^3 - 0.1042m^3 - 0.195m^3 - 0.015m^3 = 0.6858m^3$$

$$V_{Total\ de\ agregados} = 0.6858m^3$$

Con el método del módulo de finura de la combinación de agregados fino y grueso, se calculó el porcentaje de participación de agregado fino y agregado grueso de un total de 0.6858 m³ de agregado por un metro cubico de concreto. Para tal efecto se usó la siguiente tabla elaborada por los investigadores de la Universidad de Maryland, cuyo fin es producir las condiciones de un concreto trabajable siempre y cuando el módulo de finura de combinación de agregados (fino y grueso) se aproxime a los valores de la tabla.

Tabla III.20: Módulo de fineza de combinación de agregados, según investigadores de la Universidad de Maryland

Tamaño Maximo Nominal del Agregado Grueso		Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para contenidos de cemento en sacos/metro cúbico indicados				
mm.	Pulg.	5	6	7	8	9
10	3/8	3.88	3.96	4.04	4.11	4.19
12.5	1/2	4.38	4.46	4.54	4.61	4.69
20	3/4	4.88	4.96	5.04	5.11	5.19
25	1	5.18	5.26	5.34	5.41	5.49
40	1 1/2	5.48	5.56	5.64	5.71	5.79
50	2	5.78	5.86	5.94	6.01	6.09
70	3	6.08	6.16	6.24	6.31	6.39

Fuente: Rivva López, Enrique. "Concreto – Diseño de Mezclas". Fondo editorial ICG. Lima 2010.

Con un tamaño máximo nominal de agregado grueso de 1" y C1, de la tabla III.20 se obtiene por interpolación el módulo de fineza de la combinación de agregados.

$$MF_{combinación} = 5.34 + \frac{(5.41 - 5.34)}{(8 - 7)} \times (7.65 - 7) = 5.3855$$

$$MF_{combinación} = 5.3855$$

Una vez conocido el módulo de finura de la combinación de agregados se obtiene el volumen de agregado fino y agregado grueso por metro cúbico de concreto con las siguientes expresiones.

Para el volumen de agregado fino:

$$V_{Agregado\ fino} = \left(\frac{MF_{grueso} - MF_{combinación}}{MF_{grueso} - MF_{fino}} \right) \times V_{Total\ de\ agregados}$$

$$V_{Agregado\ fino} = \left(\frac{7.47 - 5.3855}{7.47 - 3.17} \right) \times 0.6858m^3$$

$$V_{Agregado\ fino} = 0.3325m^3\ por\ 1m^3\ de\ concreto$$

Para el volumen de agregado grueso:

$$V_{Agregado\ grueso} = \left(\frac{MF_{combinación} - MF_{fino}}{MF_{grueso} - MF_{fino}} \right) \times V_{Total\ de\ agregados}$$

$$V_{Agregado\ grueso} = \left(\frac{5.3855 - 3.17}{7.47 - 3.17} \right) \times 0.6858$$

$$V_{Agregado\ grueso} = 0.3533m^3\ por\ 1m^3\ de\ concreto$$

E1. ESTIMACION DEL CONTENIDO ADITIVO PLASTIFICANTE Sika Cem Plastificante

Se usó una dosificación de aditivo como súper – plastificante (ver tabla III.18) en función del peso de cemento, dado que según la experiencia en muestras de prueba, la fibra en estudio (a mayores dosificaciones) produce una gran reducción en la trabajabilidad con respecto al concreto patrón.

$$V_{\text{Aditivo plastificante}} = 325 \text{ kg} \times \frac{500 \text{ ml}}{42.5 \text{ kg}} = 3823.53 \text{ ml}$$

$$V_{\text{Aditivo plastificante}} = 3823.53 \text{ ml por } 1\text{m}^3 \text{ de concreto}$$

3.2.1.1. DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PATRÓN (a/c=0.60)

En resumen de A1, B1, C1, D1 y E1 se presenta la Tabla III.21, de dosificación en volumen por un metro cubico de concreto.

Tabla III.21: Dosificación del concreto en volumen (relación a/c = 0.60), por 1m³ de concreto

MATERIAL	VOLUMEN POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.
AGUA	0.1950	m ³
CEMENTO	0.1042	m ³
AGREGADO FINO	0.3325	m ³
AGREGADO GRUESO	0.3533	m ³
ADITIVO PLASTIFICANTE	0.0038	m ³
AIRE	0.0150	m ³

Fuente: Elaboración propia.

Usando las densidades de los materiales se calcula la dosificación en peso seco (kg) por un metro cubico de concreto.

Tabla III.22: Dosificación del concreto en peso seco (relación a/c = 0.60), por 1m³ de concreto

MATERIAL	VOLUMEN POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.	PESO SECO POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.
AGUA	0.1950	m ³	195.000	kg
CEMENTO	0.1042	m ³	325.000	kg
AGREGADO FINO	0.3325	m ³	840.163	kg
AGREGADO GRUESO	0.3533	m ³	960.460	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	0.0038	m ³	4.588	kg
AIRE	0.0150	m ³	0.000	kg

Fuente: Elaboración propia.

Realizando las correcciones por contenido de humedad y absorción de los agregados, se calcula la dosificación en peso natural de los materiales.

Tabla III.23: Correcciones por contenido de humedad y absorción de los agregados, por 1m³ de concreto (relación a/c = 0.60)

MATERIAL	VOLUMEN POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.	PESO SECO POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.	PESO CORREGIDO POR HUMEDAD POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.
AGUA	0.1950	m ³	195.000	kg	201.98	kg
CEMENTO	0.1042	m ³	325.000	kg	325.00	kg
AGREGADO FINO	0.3325	m ³	840.163	kg	843.61	kg
AGREGADO GRUESO	0.3533	m ³	960.460	kg	964.98	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	0.0038	m ³	4.588	kg	4.59	kg
AIRE	0.0150	m ³	0.000	kg	0.00	kg

Fuente: Elaboración propia.

En conclusión se tiene la dosificación de materiales del concreto patrón (a/c = 0.60).

Tabla III.24: Dosificación del concreto patrón (relación a/c = 0.60), por 1m³ de concreto

MATERIAL	PESO CORREGIDO POR HUMEDAD POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.
AGUA	201.98	kg
CEMENTO	325.00	kg
AGREGADO FINO	843.61	kg
AGREGADO GRUESO	964.98	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	4.59	kg

Nota: El asentamiento promedio del concreto patrón (relación a/c = 0.60) fue de 30.00 cm registrado en la Tabla V.1 del CAPÍTULO V – 5.1.1.1.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2. DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ($a/c=0.60$) REFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA AL (0.50%, 1.00%, 2.00%) DEL PESO DE CEMENTO.

De la tabla III.24, aplicando la fibra sintética al 0.50% de peso de cemento, se calcula la dosificación del concreto fibrorreforzado al 0.50% y (relación $a/c = 0.60$).

Tabla III.25: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 0.50% y (relación $a/c = 0.60$), por 1m^3 de concreto

MATERIAL	PESO CORREGIDO POR HUMEDAD POR 1 m^3 DE CONCRETO	UND.
AGUA	201.98	kg
CEMENTO	325.00	kg
AGREGADO FINO	843.61	kg
AGREGADO GRUESO	964.98	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	4.59	kg
FIBRA SINTÉTICA (0.50%)	1.63	kg

Nota: El asentamiento promedio del concreto fibrorreforzado al 0.50% y (relación $a/c = 0.60$) fue de 17.03 cm registrado en la Tabla V.2 del CAPITULO V – 5.1.1.1.
Fuente: Elaboración propia.

De la tabla III.24, aplicando la fibra sintética al 1.00% de peso de cemento, se calcula la dosificación del concreto fibrorreforzado al 1.00% y (relación $a/c = 0.60$).

Tabla III.26: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 1.00% y (relación $a/c = 0.60$), por 1m^3 de concreto

MATERIAL	PESO CORREGIDO POR HUMEDAD POR 1 m^3 DE CONCRETO	UND.
AGUA	201.98	kg
CEMENTO	325.00	kg
AGREGADO FINO	843.61	kg
AGREGADO GRUESO	964.98	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	4.59	kg
FIBRA SINTÉTICA (1.00%)	3.25	kg

Nota: El asentamiento promedio del concreto fibrorreforzado al 1.00% y (relación $a/c = 0.60$) fue de 10.07 cm registrado en la Tabla V.3 del CAPITULO V – 5.1.1.1.
Fuente: Elaboración propia.

De la tabla III.24, aplicando la fibra sintética al 2.00% de peso de cemento, se calcula la dosificación del concreto fibrorreforzado al 2.00% y (relación a/c = 0.60).

Tabla III.27: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 2.00% y (relación a/c = 0.60), por 1m³ de concreto

MATERIAL	PESO CORREGIDO POR HUMEDAD POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.
AGUA	201.98	kg
CEMENTO	325.00	kg
AGREGADO FINO	843.61	kg
AGREGADO GRUESO	964.98	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	4.59	kg
FIBRA SINTÉTICA (2.00%)	6.50	kg

Nota: El asentamiento promedio del concreto fibrorreforzado al 2.00% y (relación a/c = 0.60) fue de 3.60 cm registrado en la Tabla V.4 del CAPITULO V – 5.1.1.1.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ($a/c=0.65$)

A2.RELACION AGUA CEMENTO

La primera relación agua – cemento, elegida para la fabricación y estudio de las muestras de concreto patrón y fibrorreforzado fue:

$$(a/c) = 0.65$$

B2.ESTIMACION DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE

Para el cálculo del agua de mezclado y contenido de aire se usaron las mismas consideraciones y parámetros que en el ítem B1, obteniendo:

$$\text{Agua de mezclado} = 195 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Porcentaje de aire atrapado} = 1.50 \%$$

C2.CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

De A2 y B2, se plantea la siguiente expresión:

$$(a/c) = \frac{\text{Agua de mezclado}}{\text{Contenido de cemento}} = 0.65$$

$$\frac{195 \text{ lt/m}^3}{\text{Contenido de cemento}} = 0.65 \text{ lt/kg}$$

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{195}{0.65} \text{ kg}$$

$$\text{Contenido de cemento} = 300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \langle \rangle 7.06 \text{ bolsas de cemento}$$

D2. ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO (MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS)

Se realizó el cálculo del volumen total de agregados por metro cubico, en la mezcla de concreto.

$$V_{Total\ de\ agregados} = 1 - V_{cemento} - V_{agua} - V_{aire}$$

$$V_{Total\ de\ agregados} = 1 - \frac{W_{cemento}}{\gamma_{cemento}} - V_{agua} - V_{aire}$$

De A2, B2 y C2 en la ecuación anterior se tiene:

$$V_{Total\ de\ agregados} = 1\ m^3 - \frac{300\ kg}{3120\ \frac{kg}{m^3}} - \frac{195}{1000}\ m^3 - 0.015 \times 1\ m^3$$

$$V_{Total\ de\ agregados} = 1\ m^3 - 0.0962\ m^3 - 0.195\ m^3 - 0.015\ m^3 = 0.6938\ m^3$$

$$V_{Total\ de\ agregados} = 0.6938\ m^3$$

Con el método del módulo de finura de la combinación de agregados fino y grueso, se calculó el porcentaje de participación de agregado fino y agregado grueso de un total de 0.6938 m³ de agregado por un metro cubico de concreto. Para tal efecto se usó la tabla III.20 (Módulo de fineza de combinación de agregados) elaborada por los investigadores de la Universidad de Maryland, cuyo fin es producir las condiciones de un concreto trabajable siempre y cuando el módulo de finura de combinación de agregados (fino y grueso) se aproxime a los valores de la tabla. Con un tamaño máximo nominal de agregado grueso de 1" y C2, de la tabla III.20 se obtiene por interpolación el módulo de fineza de la combinación de agregados.

$$MF_{combinación} = 5.34 + \frac{(5.41 - 5.34)}{(8 - 7)} \times (7.06 - 7) = 5.3442$$

$$MF_{combinación} = 5.3442$$

Una vez conocido el módulo de finura de la combinación de agregados se obtiene el volumen de agregado fino y agregado grueso por metro cúbico de concreto con las siguientes expresiones.

Para el volumen de agregado fino:

$$V_{Agregado\ fino} = \left(\frac{MF_{grueso} - MF_{combinación}}{MF_{grueso} - MF_{fino}} \right) \times V_{Total\ de\ agregados}$$

$$V_{Agregado\ fino} = \left(\frac{7.47 - 5.3442}{7.47 - 3.17} \right) \times 0.6938m^3$$

$$V_{Agregado\ fino} = 0.3430m^3\ por\ 1m^3\ de\ concreto$$

Para el volumen de agregado grueso:

$$V_{Agregado\ grueso} = \left(\frac{MF_{combinación} - MF_{fino}}{MF_{grueso} - MF_{fino}} \right) \times V_{Total\ de\ agregados}$$

$$V_{Agregado\ grueso} = \left(\frac{5.3442 - 3.17}{7.47 - 3.17} \right) \times 0.6938$$

$$V_{Agregado\ grueso} = 0.3508m^3\ por\ 1m^3\ de\ concreto$$

E2. ESTIMACION DEL CONTENIDO ADITIVO PLASTIFICANTE Sika Cem Plastificante

Se usó una dosificación de aditivo como súper – plastificante (ver tabla III.18) en función del peso de cemento, dado que según la experiencia en muestras de prueba, la fibra en estudio (a mayores dosificaciones) produce una gran reducción en la trabajabilidad con respecto al concreto patrón.

$$V_{Aditivo\ plastificante} = 300\ kg \times \frac{500\ ml}{42.5\ kg} = 3529.41\ ml$$

$$V_{Aditivo\ plastificante} = 3529.41\ ml\ por\ 1m^3\ de\ concreto$$

3.2.2.1. DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PATRÓN ($a/c=0.65$)

En resumen de A2, B2, C2, D2 y E2 se presenta la tabla III.28, de dosificación en volumen por un metro cubico de concreto.

Tabla III.28: Dosificación del concreto en volumen (relación $a/c = 0.65$), por $1m^3$ de concreto.

MATERIAL	VOLUMEN POR $1 m^3$ DE CONCRETO	UND.
AGUA	0.1950	m^3
CEMENTO	0.0962	m^3
AGREGADO FINO	0.3430	m^3
AGREGADO GRUESO	0.3508	m^3
ADITIVO PLASTIFICANTE	0.0035	m^3
AIRE	0.0150	m^3

Fuente: Elaboración propia.

Usando las densidades de los materiales se calcula la dosificación en peso seco (kg) por un metro cubico de concreto.

Tabla III.29: Dosificación del concreto en peso seco (relación $a/c = 0.65$), por $1m^3$ de concreto.

MATERIAL	VOLUMEN POR $1 m^3$ DE CONCRETO	UND.	PESO SECO POR $1 m^3$ DE CONCRETO	UND.
AGUA	0.1950	m^3	195.000	kg
CEMENTO	0.0962	m^3	300.000	kg
AGREGADO FINO	0.3430	m^3	866.767	kg
AGREGADO GRUESO	0.3508	m^3	953.620	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	0.0035	m^3	4.235	kg
AIRE	0.0150	m^3	0.000	kg

Fuente: Elaboración propia.

Realizando las correcciones por contenido de humedad y absorción de los agregados, se calcula la dosificación en peso natural de los materiales.

Tabla III.30: Correcciones por contenido de humedad y absorción de los agregados, por 1m³ de concreto (relación a/c = 0.65)

MATERIAL	VOLUMEN POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.	PESO SECO POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.	PESO CORREGIDO POR HUMEDAD POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.
AGUA	0.1950	m ³	195.000	kg	202.11	kg
CEMENTO	0.0962	m ³	300.000	kg	300.00	kg
AGREGADO FINO	0.3430	m ³	866.767	kg	870.32	kg
AGREGADO GRUESO	0.3508	m ³	953.620	kg	958.11	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	0.0035	m ³	4.235	kg	4.24	kg
AIRE	0.0150	m ³	0.000	kg	0.00	kg

Fuente: Elaboración propia.

En conclusión se tiene la dosificación de materiales del concreto patrón (a/c = 0.65).

Tabla III.31: Dosificación del concreto patrón (relación a/c = 0.65), por 1m³ de concreto

MATERIAL	PESO CORREGIDO POR HUMEDAD POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.
AGUA	202.11	kg
CEMENTO	300.00	kg
AGREGADO FINO	870.32	kg
AGREGADO GRUESO	958.11	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	4.24	kg

Nota: El asentamiento promedio del concreto patrón (relación a/c = 0.65) fue de 30.00 cm registrado en la Tabla V.5 del CAPÍTULO V – 5.1.1.2.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2. DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ($a/c=0.65$) REFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA AL (0.50%, 1.00%, 2.00%) DEL PESO DE CEMENTO.

De la tabla III.31, aplicando la fibra sintética al 0.50% de peso de cemento, se calcula la dosificación del concreto fibrorreforzado al 0.50% y (relación $a/c = 0.65$).

Tabla III.32: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 0.50% y (relación $a/c = 0.65$), por 1m^3 de concreto

MATERIAL	PESO CORREGIDO POR HUMEDAD POR 1 m^3 DE CONCRETO	UND.
AGUA	202.11	kg
CEMENTO	300.00	kg
AGREGADO FINO	870.32	kg
AGREGADO GRUESO	958.11	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	4.24	kg
FIBRA SINTÉTICA (0.50%)	1.50	kg

Nota: El asentamiento promedio del concreto fibrorreforzado al 0.50% y (relación $a/c = 0.65$) fue de 18.03 cm registrado en la Tabla V.6 del CAPITULO V – 5.1.1.2.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla III.31, aplicando la fibra sintética al 1.00% de peso de cemento, se calcula la dosificación del concreto fibrorreforzado al 1.00% y (relación $a/c = 0.65$).

Tabla III.33: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 1.00% y (relación $a/c = 0.65$), por 1m^3 de concreto

MATERIAL	PESO CORREGIDO POR HUMEDAD POR 1 m^3 DE CONCRETO	UND.
AGUA	202.11	kg
CEMENTO	300.00	kg
AGREGADO FINO	870.32	kg
AGREGADO GRUESO	958.11	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	4.24	kg
FIBRA SINTÉTICA (1.00%)	3.00	kg

Nota: El asentamiento promedio del concreto fibrorreforzado al 1.00% y (relación $a/c = 0.65$) fue de 11.17 cm registrado en la Tabla V.7 del CAPITULO V – 5.1.1.2.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla III.31, aplicando la fibra sintética al 2.00% del peso de cemento, se calcula la dosificación del concreto fibrorreforzado al 2.00% y (relación a/c = 0.65).

Tabla III.34: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 2.00% y (relación a/c = 0.65), por 1m³ de concreto

MATERIAL	PESO CORREGIDO POR HUMEDAD POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.
AGUA	202.11	kg
CEMENTO	300.00	kg
AGREGADO FINO	870.32	kg
AGREGADO GRUESO	958.11	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	4.24	kg
FIBRA SINTÉTICA (2.00%)	6.00	kg

Nota: El asentamiento promedio del concreto fibrorreforzado al 2.00% y (relación a/c = 0.65) fue de 4.03 cm registrado en la Tabla V.8 del CAPITULO V – 5.1.1.2.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ($a/c=0.70$)

A3.RELACION AGUA CEMENTO

La primera relación agua – cemento, elegida para la fabricación y estudio de las muestras de concreto patrón y fibrorreforzado fue:

$$(a/c) = 0.70$$

B3.ESTIMACION DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE

Para el cálculo del agua de mezclado y contenido de aire se usaron las mismas consideraciones y parámetros que en el ítem B1, obteniendo:

$$\text{Agua de mezclado} = 195 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Porcentaje de aire atrapado} = 1.50 \%$$

C3.CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

De A3 y B3, se plantea la siguiente expresión:

$$(a/c) = \frac{\text{Agua de mezclado}}{\text{Contenido de cemento}} = 0.70$$

$$\frac{195 \text{ lt/m}^3}{\text{Contenido de cemento}} = 0.70 \text{ lt/kg}$$

$$\text{Contenido de cemento} = \frac{195}{0.70} \text{ kg}$$

$$\text{Contenido de cemento} = 278.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \langle \rangle 6.55 \text{ bolsas de cemento}$$

D3. ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO (MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS)

Se realizó el cálculo del volumen total de agregados por metro cubico, en la mezcla de concreto.

$$V_{Total\ de\ agregados} = 1 - V_{cemento} - V_{agua} - V_{aire}$$

$$V_{Total\ de\ agregados} = 1 - \frac{W_{cemento}}{\gamma_{cemento}} - V_{agua} - V_{aire}$$

De A3, B3 y C3 en la ecuación anterior se tiene:

$$V_{Total\ de\ agregados} = 1\ m^3 - \frac{278.6\ kg}{3120\ \frac{kg}{m^3}} - \frac{195}{1000}\ m^3 - 0.015 \times 1\ m^3$$

$$V_{Total\ de\ agregados} = 1\ m^3 - 0.0893\ m^3 - 0.195\ m^3 - 0.015\ m^3 = 0.7007\ m^3$$

$$V_{Total\ de\ agregados} = 0.7007\ m^3$$

Con el método del módulo de finura de la combinación de agregados fino y grueso, se calculó el porcentaje de participación de agregado fino y agregado grueso de un total de 0.7007 m³ de agregado por un metro cubico de concreto. Para tal efecto se usó la tabla III.20 (Módulo de fineza de combinación de agregados) elaborada por los investigadores de la Universidad de Maryland, cuyo fin es producir las condiciones de un concreto trabajable siempre y cuando el módulo de finura de combinación de agregados (fino y grueso) se aproxime a los valores de la tabla. Con un tamaño máximo nominal de agregado grueso de 1" y C3, de la tabla III.20 se obtiene por interpolación el módulo de fineza de la combinación de agregados.

$$MF_{combinación} = 5.26 + \frac{(5.34 - 5.26)}{(7 - 6)} \times (6.55 - 6) = 5.304$$

$$MF_{combinación} = 5.304$$

Una vez conocido el módulo de finura de la combinación de agregados se obtiene el volumen de agregado fino y agregado grueso por metro cúbico de concreto con las siguientes expresiones.

Para el volumen de agregado fino:

$$V_{Agregado\ fino} = \left(\frac{MF_{grueso} - MF_{combinación}}{MF_{grueso} - MF_{fino}} \right) \times V_{Total\ de\ agregados}$$

$$V_{Agregado\ fino} = \left(\frac{7.47 - 5.304}{7.47 - 3.17} \right) \times 0.7007m^3$$

$$V_{Agregado\ fino} = 0.3529m^3\ por\ 1m^3\ de\ concreto$$

Para el volumen de agregado grueso:

$$V_{Agregado\ grueso} = \left(\frac{MF_{combinación} - MF_{fino}}{MF_{grueso} - MF_{fino}} \right) \times V_{Total\ de\ agregados}$$

$$V_{Agregado\ grueso} = \left(\frac{5.304 - 3.17}{7.47 - 3.17} \right) \times 0.7007$$

$$V_{Agregado\ grueso} = 0.3478m^3\ por\ 1m^3\ de\ concreto$$

E3. ESTIMACION DEL CONTENIDO ADITIVO PLASTIFICANTE Sika Cem Plastificante

Se usó una dosificación de aditivo como súper – plastificante (ver tabla III.18) en función del peso de cemento, dado que según la experiencia en muestras de prueba, la fibra en estudio (a mayores dosificaciones) produce una gran reducción en la trabajabilidad con respecto al concreto patrón.

$$V_{Aditivo\ plastificante} = 278.6\ kg \times \frac{500\ ml}{42.5\ kg} = 3277.65\ ml$$

$$V_{Aditivo\ plastificante} = 3277.65\ ml\ por\ 1m^3\ de\ concreto$$

3.2.3.1. DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PATRÓN ($a/c=0.70$)

En resumen de A3, B3, C3, D3 y E3 se presenta la tabla III.35, de dosificación en volumen por un metro cubico de concreto.

Tabla III.35: Dosificación del concreto en volumen (relación $a/c = 0.70$), por $1m^3$ de concreto

MATERIAL	VOLUMEN POR $1 m^3$ DE CONCRETO	UND.
AGUA	0.1950	m^3
CEMENTO	0.0893	m^3
AGREGADO FINO	0.3529	m^3
AGREGADO GRUESO	0.3478	m^3
ADITIVO PLASTIFICANTE	0.0033	m^3
AIRE	0.0150	m^3

Fuente: Elaboración propia.

Usando las densidades de los materiales se calcula la dosificación en peso seco (kg) por un metro cubico de concreto.

Tabla III.36: Dosificación del concreto en peso seco (relación $a/c = 0.70$), por $1m^3$ de concreto

MATERIAL	VOLUMEN POR $1 m^3$ DE CONCRETO	UND.	PESO SECO POR $1 m^3$ DE CONCRETO	UND.
AGUA	0.1950	m^3	195.000	kg
CEMENTO	0.0893	m^3	278.571	kg
AGREGADO FINO	0.3529	m^3	891.713	kg
AGREGADO GRUESO	0.3478	m^3	945.453	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	0.0033	m^3	3.933	kg
AIRE	0.0150	m^3	0.000	kg

Fuente: Elaboración propia.

Realizando las correcciones por contenido de humedad y absorción de los agregados, se calcula la dosificación en peso natural de los materiales.

Tabla III.37: Correcciones por contenido de humedad y absorción de los agregados, por 1m³ de concreto (relación a/c = 0.70).

MATERIAL	VOLUMEN POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.	PESO SECO POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.	PESO CORREGIDO POR HUMEDAD POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.
AGUA	0.1950	m ³	195.000	kg	202.23	kg
CEMENTO	0.0893	m ³	278.571	kg	278.57	kg
AGREGADO FINO	0.3529	m ³	891.713	kg	895.37	kg
AGREGADO GRUESO	0.3478	m ³	945.453	kg	949.90	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	0.0033	m ³	3.933	kg	3.93	kg
AIRE	0.0150	m ³	0.000	kg	0.00	kg

Fuente: Elaboración propia.

En conclusión se tiene la dosificación de materiales del concreto patrón (a/c = 0.70).

Tabla III.38: Dosificación del concreto patrón (relación a/c = 0.70), por 1m³ de concreto

MATERIAL	PESO CORREGIDO POR HUMEDAD POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.
AGUA	202.23	kg
CEMENTO	278.57	kg
AGREGADO FINO	895.37	kg
AGREGADO GRUESO	949.90	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	3.93	kg

Nota: El asentamiento promedio del concreto patrón (relación a/c = 0.70) fue de 30.00 cm registrado en la Tabla V.9 del CAPÍTULO V – 5.1.1.3.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.2. DOSIFICACIÓN DE CONCRETO ($a/c=0.70$) REFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA AL (0.50%, 1.00%, 2.00%) DEL PESO DE CEMENTO.

De la tabla III.38, aplicando la fibra sintética al 0.50% de peso de cemento, se calcula la dosificación del concreto fibrorreforzado al 0.50% y (relación $a/c = 0.70$).

Tabla III.39: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 0.50% y (relación $a/c = 0.70$), por 1m^3 de concreto

MATERIAL	PESO CORREGIDO POR HUMEDAD POR 1 m^3 DE CONCRETO	UND.
AGUA	202.23	kg
CEMENTO	278.57	kg
AGREGADO FINO	895.37	kg
AGREGADO GRUESO	949.90	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	3.93	kg
FIBRA SINTÉTICA (0.50%)	1.39	kg

Nota: El asentamiento promedio del concreto fibrorreforzado al 0.50% y (relación $a/c = 0.70$) fue de 19.13 cm registrado en la Tabla V.10 del CAPÍTULO V – 5.1.1.3.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla III.38, aplicando la fibra sintética al 1.00% de peso de cemento, se calcula la dosificación del concreto fibrorreforzado al 1.00% y (relación $a/c = 0.70$).

Tabla III.40: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 1.00% y (relación $a/c = 0.70$), por 1m^3 de concreto.

MATERIAL	PESO CORREGIDO POR HUMEDAD POR 1 m^3 DE CONCRETO	UND.
AGUA	202.23	kg
CEMENTO	278.57	kg
AGREGADO FINO	895.37	kg
AGREGADO GRUESO	949.90	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	3.93	kg
FIBRA SINTÉTICA (1.00%)	2.79	kg

Nota: El asentamiento promedio del concreto fibrorreforzado al 1.00% y (relación $a/c = 0.70$) fue de 12.47 cm registrado en la Tabla V.11 del CAPÍTULO V – 5.1.1.3.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla III.38, aplicando la fibra sintética al 2.00% del peso de cemento, se calcula la dosificación del concreto fibrorreforzado al 2.00% y (relación a/c = 0.70).

Tabla III.41: Dosificación de concreto fibrorreforzado al 2.00% y (relación a/c = 0.70), por 1m³ de concreto.

MATERIAL	PESO CORREGIDO POR HUMEDAD POR 1 m ³ DE CONCRETO	UND.
AGUA	202.23	kg
CEMENTO	278.57	kg
AGREGADO FINO	895.37	kg
AGREGADO GRUESO	949.90	kg
ADITIVO PLASTIFICANTE	3.93	kg
FIBRA SINTÉTICA (2.00%)	5.57	kg

Nota: El asentamiento promedio del concreto fibrorreforzado al 2.00% y (relación a/c = 0.70) fue de 5.83 cm registrado en la Tabla V.12 del CAPITULO V – 5.1.1.3.
 Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV : ENSAYOS

4.1. ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO PLÁSTICO

4.1.1. ENSAYO DE ASENTAMIENTO (NTP 339.035)

El ensayo usado para medir la trabajabilidad de las muestras de concreto fresco se realizó acorde a la metodología indicada en la NTP 339.035. El procedimiento usado en laboratorio fue:

- ✓ Se obtuvo una muestra del concreto fresco a estudiar, de cantidad superior a la necesaria para el ensayo.



Figura IV-1: Muestra de concreto para el ensayo de Asentamiento

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se colocó el cono de Abrams sobre su base (no absorbente) y se llenó en 3 capas (de igual volumen aproximadamente), compactando por varillado cada capa, con 25 golpes de varilla (por capa) que se distribuyeron uniformemente en toda la superficie de la capa (iniciando en los bordes y terminando en el centro), procurando que cada golpe de varilla se introduzca hasta la mitad de la capa inferior inmediata.

- ✓ Una vez se terminó el compactado de la tercera capa, se enrazó el excedente de la muestra a ras del cono, rodando la varilla compactadora sobre el borde superior del cono (eliminando el excedente del área de trabajo, para evitar interferencias durante el ensayo).
- ✓ Se levantó verticalmente el cono de Abrams a una velocidad media constante, procurando evitar la interferencia o sesgo en el movimiento ascendente del cono.
- ✓ Una vez deformada la muestra de concreto fresco (por acción de la gravedad), se colocó el cono de Abrams invertido al lado de la muestra y se registró el valor del asentamiento de la muestra.



Figura IV-2: Lectura de asentamiento en muestra de concreto fresco.

Nota: Se realizó la verificación de la calibración de la regla (azul) usada para medición, comparándola con vernier calibrado (ver ANEXO 2).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron 3 ensayos de asentamiento por cada una de las dosificaciones de concreto fresco (patrón y fibrorreforzado) en estudio.

4.1.2. ENSAYO DE PESO UNITARIO (NTP 339.046)

EL ensayo usado para medir la el peso unitario de las muestras de concreto fresco, se realizó acorde a la metodología indicada en la NTP 339.046. El procedimiento usado en laboratorio fue:

- ✓ Se obtuvo una muestra del concreto fresco a estudiar, de cantidad superior a la necesaria para el ensayo.
- ✓ Se registró el peso del recipiente normalizado de volumen nominal ($1/3 \text{ pie}^3$), para el ensayo de "Peso unitario" de concreto fresco.



Figura IV-3: Peso de recipiente normalizado de volumen nominal ($1/3 \text{ pie}^3$), para el ensayo de "Peso unitario" de concreto fresco

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se llenó el recipiente en 3 capas (de igual volumen aproximadamente), compactando por varillado y vibrado lateral cada capa, con 25 golpes de varilla (por capa) que se distribuyeron uniformemente en toda la superficie de la capa (iniciando en los bordes y terminando en el centro) procurando

- que cada golpe de varilla se introduzca hasta la mitad de la capa inferior inmediata y 15 golpes laterales con el mazo de goma que se distribuyen uniformemente en el perímetro del recipiente a modo de vibrado, para eliminar el exceso de aire incorporado durante le varillado.
- ✓ Una vez se terminó el compactado de la tercera capa, se enrazó el excedente de la muestra a ras del recipiente, rodando la varilla compactadora sobre el borde superior del recipiente.
 - ✓ Se registró el peso del recipiente + muestra de concreto fresco compactado.



Figura IV-4: Peso del recipiente de volumen nominal ($1/3 \text{ pie}^3$) + muestra de concreto fresco compactado.

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Una vez registrados los pesos, se calculó el peso unitario del concreto fresco con la siguiente expresión:

$$\text{Peso unitario concreto} = \frac{\text{Peso}_{\text{Recipiente+muestra de concreto}} - \text{Peso}_{\text{Recipiente vacío}}}{\text{Volumen nominal}_{\text{Recipiente normalizado}}}$$

Se realizaron 3 ensayos de peso unitario por cada una de las dosificaciones de concreto fresco (patrón y fibrorreforzado) en estudio.

4.1.3. ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA (NTP 339.082)

El ensayo usado para calcular los tiempos de fragua inicial y final de las muestras de concreto, se realizó acorde a la metodología indicada en la NTP 339.082.

El tiempo de fragua de una muestra de concreto, es un valor que se ve directamente afectado por agentes externos como el contenido de humedad y temperatura del ambiente, pudiendo este extenderse o acortarse, motivo por el cual es considerado un parámetro variable y sensible a los cambios de temperatura del ambiente. Sin embargo, este parámetro es un buen indicador para comparar el desarrollo de la fragua del concreto, en un determinado grupo de muestras en estudio. El procedimiento usado en laboratorio fue:

- ✓ Se tamizó una muestra del concreto que pasó el tamiz 4.76 mm, de cantidad superior a la necesaria para el ensayo.
- ✓ Se llenaron 2 moldes cilíndricos, de aproximadamente 7" de diámetro y 7" de altura, en una sola capa hasta una altura máxima de 10mm por debajo del borde del molde, compactándose por varillado (con 1 golpe por 1 pulg² superficial) y golpes laterales (para eliminar el aire atrapado y obtener una superficie nivelada).
- ✓ Se registró la hora de inicio del proceso de fragua (contacto inicial entre el cemento y el agua) del ensayo.
- ✓ Se dispuso de 6 agujas (de áreas 1 pulg², 1/2 pulg², 1/4 pulg², 1/10 pulg², 1/20 pulg², 1/40 pulg²) para el ensayo de penetración de la muestra. Se realizó la verificación del

diámetro y área de las aguas empleando un vernier calibrado con asistencia de un profesional técnico del laboratorio.

- ✓ Se preparó el instrumento de penetración con la aguja idónea (según el estado de fragua del concreto), poniendo la aguja en contacto con la superficie de concreto se realizó el ensayo de penetración, aplicando una fuerza de penetración vertical gradual uniforme, hasta lograr una penetración e 25mm en un tiempo de 10 ± 2 segundos; cabe resaltar que las zonas de penetración de cada aguja estuvieron espaciadas a una distancia no menor del máximo valor entre: el doble del diámetro de la aguja o 15mm y a una distancia no menor de 25 mm del borde del recipiente.
- ✓ Se registraron la fuerza de penetración aplicada, el área de la aguja usada y la hora del ensayo de penetración.
- ✓ Con los datos de fuerza de penetración y área de agua se calculó le resistencia a la penetración correspondiente a cada tiempo de fragua registrado.

$$\text{Resistencia a la penetración} = \frac{\text{Fuerza de penetración}}{\text{Area de aguja de penetración}}$$

- ✓ Se graficaron los datos de resistencia a la penetración vs tiempo de fragua.
- ✓ Se realizó una aproximación a una ecuación exponencial que relaciona la resistencia a la penetración en función del tiempo de fragua.
- ✓ Con la ecuación de la resistencia a la penetración en función tiempo de fragua, se calculó el tiempo de fragua inicial correspondiente a la resistencia a la penetración de 500 psi y el tiempo de fragua final correspondiente a la resistencia a la penetración de 4000 psi.

Se realizaron 2 ensayos de tiempo de fragua por cada una de las dosificaciones de concreto fresco (patrón y fibrorreforzado) con relación $a/c = 0.65$.

4.2. ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

4.2.1. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (NTP 339.034)

EL ensayo usado para medir la resistencia a la compresión de las muestras de concreto, se realizó acorde a la metodología indicada en la NTP 339.034. El procedimiento usado en laboratorio fue:

- ✓ Se fabricaron probetas de concreto endurecido y se sometieron a curado sumergidas en agua con cal durante 7 y 28 días.



Figura IV-5: Fabricación y curado de probetas de concreto.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se extrajo del curado la muestra de probetas a ensayar y se pusieron a secar al ambiente, hasta alcanzar un estado superficialmente seco.



Figura IV-6: Muestra de probetas de concreto secando al ambiente.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se registraron los pesos, los diámetros y las alturas de las probetas. Con el vernier y la regla milimetrada se tomaron dos lecturas de diámetro y altura por cada probeta, para determinar su diámetro y altura promedio.



(a)



(b)

Figura IV-7: Medición de: (a) Altura de probeta y (b) Diámetro de probeta.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se ensayaron las probetas a compresión axial simple, incrementando la carga gradualmente (a una velocidad constante y normalizada) hasta el estado de falla de la probeta.



Figura IV-8: Ensayo de compresión simple en probeta de concreto

Nota: Las bases de retención poseen PADS de neopreno, para garantizar una adecuada trasmisión de la fuerza axial a la probeta, durante el ensayo.

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se registró la fuerza máxima en kilogramos aplicada a la probeta, una vez alcanzado el estado de falla.



Figura IV-9: Fuerza máxima en kilogramos aplicada en compresión axial a la probeta de concreto

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se calculó la resistencia a la compresión de la probeta como: la relación entre la fuerza máxima aplicada a la probeta y el área promedio de la sección de la probeta.

$$\text{Resistencia a la compresión del concreto} = \frac{\text{Fuerza máxima aplicada probeta}}{\text{Área promedio de la sección de probeta}}$$

- ✓ Se caracterizó el tipo de falla de la probeta en estudio, acorde a las fallas tipificadas en la NTP 339.034. Cabe mencionar que la norma ASTM C1231/C1231M (Práctica estándar para el uso de tapas no adheridas en la determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido) suscribe que las fallas tipificadas en la norma ASTM C39/C39M (en la cual se basa la NTP 339.034) son válidas para el análisis del tipo de falla de los cilindros de concreto endurecido ensayados a compresión axial, apoyados en tapas (PADS) no adheridas de neopreno de dureza definida.

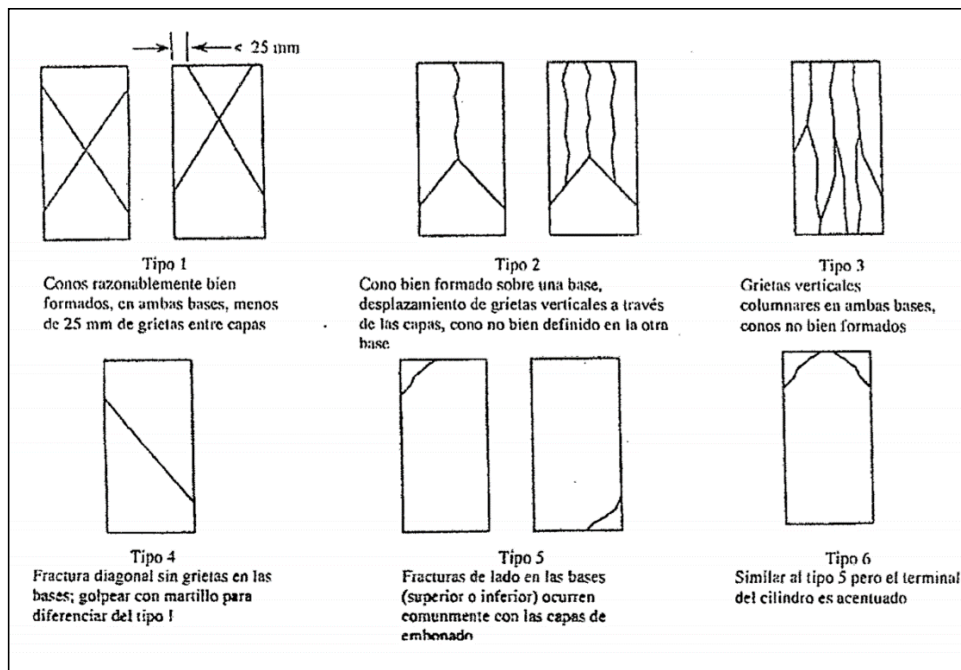


Figura IV-10: Fallas tipificadas en probetas de concreto, para el ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: INDECOPI, "HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. (NTP 339.034 - 2013)". Lima 2013.

Se realizaron 9 ensayos de resistencia a la compresión axial por cada una de las dosificaciones de concreto (patrón y fibrorreforzado) en estudio.

4.2.2. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIÁMETRAL (NTP 339.084)

EL ensayo usado para medir la resistencia a la tracción por compresión diametral de las muestras de concreto, se realizó acorde a la metodología indicada en la NTP 339.084. El procedimiento usado en laboratorio fue:

- ✓ Se fabricaron probetas de concreto endurecido y se sometieron a curado sumergidas en agua con cal durante 7 y 28 días.
- ✓ Se extrajo del curado la muestra de probetas a ensayar y se pusieron a secar al ambiente, hasta alcanzar un estado superficialmente seco.
- ✓ Se registraron las medidas de diámetro y altura de las probetas. Con el vernier y la regla milimetrada se tomaron dos lecturas de diámetro y altura por cada probeta, para determinar su diámetro y altura promedio.
- ✓ Se ensayaron las probetas a compresión diametral simple, incrementando la carga gradualmente (a una velocidad constante y normalizada) hasta el estado de falla de la probeta.



Figura IV-11: Ensayo de tracción por compresión diametral en probeta de concreto

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se registró la fuerza máxima en kilogramos en compresión diametral aplicada a la probeta, una vez alcanzado el estado de falla.



Figura IV-12: Fuerza máxima en kilogramos aplicada en compresión diametral a la probeta de concreto

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se calculó la resistencia a la tracción (por compresión diametral) de la probeta como:

$$\text{Resistencia a la tracción del concreto} = \frac{2 \times \text{Fuerza máxima aplicada en compresión diametral}}{\pi \times \text{Altura prom. de probeta} \times \text{Diámetro prom. de probeta}}$$

- ✓ Se caracterizó cualitativamente la falla de la probeta ensayada a tracción por compresión diametral.

Se realizaron 9 ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral por cada una de las dosificaciones de concreto (patrón y fibrorreforzado) en estudio.

4.2.3. ENSAYO DE MÓDULO DE ROTURA (ASTM C293/C293-M10)

El ensayo usado para medir el módulo de rotura o la resistencia a la flexión de vigas de concreto, se realizó acorde a la metodología indicada en la norma ASTM C293/C293M-10. El procedimiento usado en laboratorio fue:

- ✓ Se fabricaron vigas de concreto endurecido y se sometieron a curado sumergidas en agua con cal durante 28 días.



Figura IV-13: Fabricación y curado de vigas de concreto.

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se extrajo del curado la muestra de vigas a ensayar y se pusieron a secar al ambiente, hasta alcanzar un estado superficialmente seco.



Figura IV-14: Vigas de concreto secando al ambiente.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se marcaron líneas guías (línea central y líneas de apoyo) en las vigas de concreto.



Figura IV-15: Líneas guía marcadas en las vigas de concreto.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se preparó la máquina de ensayo y se colocó la viga de concreto según el siguiente esquema suscrito en la norma ASTM C293/C293M-10.

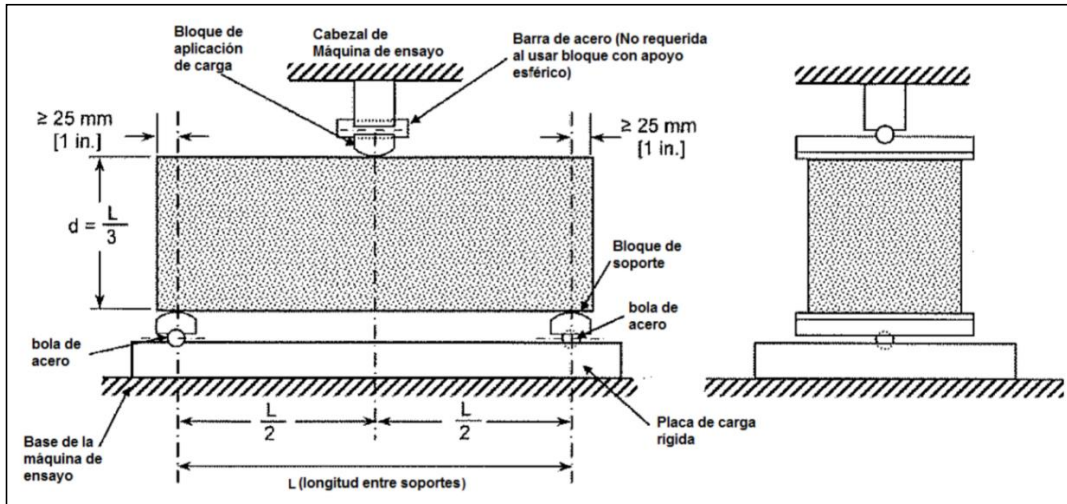


Figura IV-16: Diagrama de una configuración apropiada para el ensayo de flexión de vigas de concreto, con carga aplicada en el centro de la luz.

Fuente: American Society of Testing Materials. "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading - ASTM C293/C293M-10) EE.UU. 2010.



Figura IV-17: Colocación de viga de concreto para el ensayo de flexión de vigas de concreto, con carga aplicada en el centro de la luz.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Se ensayaron a flexión las vigas de concreto con carga aplicada al centro de luz, incrementando la carga gradualmente (a una velocidad constante y normalizada) hasta el estado de falla de la viga.



Figura IV-18: Ensayo de flexión de vigas concreto, con carga aplicada en el centro de la luz

Fuente: Elaboración propia



Figura IV-19: Estado de falla de la viga de concreto, ensayada a flexión con carga aplicada en el centro de la luz

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se registró la fuerza máxima en kilogramos aplicada a la viga en el centro de luz, una vez alcanzado el estado de falla.



Figura IV-20: Fuerza máxima en kilogramos aplicada a la viga en el centro de luz

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se realizó la medición del ancho promedio de la viga y el espesor promedio de la viga en la zona de fractura.



Figura IV-21: Zona de fractura de la viga, ensayada a flexión con carga aplicada en el centro de la luz.

Fuente: Elaboración propia

- ✓ Se calculó el módulo de rotura o resistencia a la flexión de la viga como:

$$\text{Módulo de Rotura} = \frac{3 \times \text{Fuerza máxima aplicada} \times \text{Longitud entre soportes}}{2 \times \text{Ancho promedio de la viga} \times (\text{Espesor promedio de la viga})^2}$$

- ✓ Se caracterizó cualitativamente el tipo de falla de la viga en estudio.

Se realizaron 2 ensayos de módulo de rotura por cada una de las dosificaciones de concreto (patrón y fibrorreforzado) en estudio.

CAPÍTULO V : RESULTADOS

5.1. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO PLÁSTICO

5.1.1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE ASENTAMIENTO (NTP 339.035)

5.1.1.1. ASENTAMIENTOS DE CONCRETOS CON RELACIÓN (a/c = 0.60)

5.1.1.1.1. ASENTAMIENTO DE CONCRETO (a/c = 0.60) PATRÓN

Se muestran los resultados del ensayo de asentamiento registrados en laboratorio:

Tabla V.1: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto patrón (a/c) = 0.60

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	ASENTAMIENTO	UND	ASENTAMIENTO PROMEDIO	UND
0.60	0.00%	S1-1	30.00	cm	30.00	cm
		S1-2	30.00	cm		
		S1-3	30.00	cm		

Nota: Ver figura VI-5, para referencia de la consistencia líquida del concreto patrón súper-plastificado.

Fuente: Elaboración propia.

Por tratarse de una dosificación de concreto patrón súper-plastificado se observó que la mezcla presentaba una consistencia líquida; en los ensayos de asentamiento la mezcla líquida desbordó la base del ensayo, presentando el asentamiento máximo posible de 12 pulgadas = 30 cm.

5.1.1.1.2. ASENTAMIENTO DE CONCRETO (a/c = 0.60) FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los resultados del ensayo de asentamiento registrados en laboratorio:

Tabla V.2: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento.

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	ASENTAMIENTO	UND	ASENTAMIENTO PROMEDIO	UND
0.60	0.50%	S2-1	16.50	cm	17.03	cm
		S2-2	17.70	cm		
		S2-3	16.90	cm		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.1.3. ASENTAMIENTO DE CONCRETO ($a/c = 0.60$) FIBRORREFORZADO AL 1.00%

Se muestran los resultados del ensayo de asentamiento registrados en laboratorio:

Tabla V.3: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto ($a/c = 0.60$) fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	ASENTAMIENTO	UND	ASENTAMIENTO PROMEDIO	UND
0.60	1.00%	S3-1	10.50	cm	10.07	cm
		S3-2	9.50	cm		
		S3-3	10.20	cm		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.1.4. ASENTAMIENTO DE CONCRETO ($a/c = 0.60$) FIBRORREFORZADO AL 2.00%

Se muestran los resultados del ensayo de asentamiento registrados en laboratorio:

Tabla V.4: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto ($a/c = 0.60$) fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento.

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	ASENTAMIENTO	UND	ASENTAMIENTO PROMEDIO	UND
0.60	2.00%	S4-1	3.40	cm	3.60	cm
		S4-2	3.80	cm		
		S4-3	3.60	cm		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.2. ASENTAMIENTOS DE CONCRETOS CON RELACIÓN (a/c = 0.65)

5.1.1.2.1. ASENTAMIENTO DE CONCRETO (a/c = 0.65) PATRÓN

Se muestran los resultados del ensayo de asentamiento registrados en laboratorio:

Tabla V.5: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto patrón (a/c) = 0.65

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	ASENTAMIENTO	UND	ASENTAMIENTO PROMEDIO	UND
0.65	0.00%	S5-1	30.00	cm	30.00	cm
		S5-2	30.00	cm		
		S5-3	30.00	cm		

Nota: Ver figura VI-5, para referencia de la consistencia líquida del concreto patrón súper-plastificado.

Fuente: Elaboración propia.

Por tratarse de una dosificación de concreto patrón súper-plastificado se observó que la mezcla presentaba una consistencia líquida; en los ensayos de asentamiento la mezcla líquida desbordó la base del ensayo, presentando el asentamiento máximo de 12 pulgadas = 30 cm.

5.1.1.2.2. ASENTAMIENTO DE CONCRETO (a/c = 0.65) FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los resultados del ensayo de asentamiento registrados en laboratorio:

Tabla V.6: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	ASENTAMIENTO	UND	ASENTAMIENTO PROMEDIO	UND
0.65	0.50%	S6-1	17.50	cm	18.03	cm
		S6-2	18.10	cm		
		S6-3	18.50	cm		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.2.3. ASENTAMIENTO DE CONCRETO ($a/c = 0.65$) FIBRORREFORZADO AL 1.00%

Se muestran los resultados del ensayo de asentamiento registrados en laboratorio:

Tabla V.7: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto ($a/c = 0.65$) fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento.

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	ASENTAMIENTO	UND	ASENTAMIENTO PROMEDIO	UND
0.65	1.00%	S7-1	11.20	cm	11.17	cm
		S7-2	10.80	cm		
		S7-3	11.50	cm		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.2.4. ASENTAMIENTO DE CONCRETO ($a/c = 0.65$) FIBRORREFORZADO AL 2.00%

Se muestran los resultados del ensayo de asentamiento registrados en laboratorio:

Tabla V.8: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto ($a/c = 0.65$) fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento.

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	ASENTAMIENTO	UND	ASENTAMIENTO PROMEDIO	UND
0.65	2.00%	S8-1	3.70	cm	4.03	cm
		S8-2	4.00	cm		
		S8-3	4.40	cm		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.3. ASENTAMIENTOS DE CONCRETOS CON RELACIÓN (a/c = 0.70)

5.1.1.3.1. ASENTAMIENTO DE CONCRETO (a/c = 0.70) PATRÓN

Se muestran los resultados del ensayo de asentamiento registrados en laboratorio:

Tabla V.9: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto patrón (a/c) = 0.70

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	ASENTAMIENTO	UND	ASENTAMIENTO PROMEDIO	UND
0.70	0.00%	S9-1	30.00	cm	30.00	cm
		S9-2	30.00	cm		
		S9-3	30.00	cm		

Nota: Ver figura VI-5, para referencia de la consistencia líquida del concreto patrón súper-plastificado.

Fuente: Elaboración propia.

Por tratarse de una dosificación de concreto patrón súper-plastificado se observó que la mezcla presentaba una consistencia líquida; en los ensayos de asentamiento la mezcla líquida desbordó la base del ensayo, presentando el asentamiento máximo de 12 pulgadas = 30 cm.

5.1.1.3.2. ASENTAMIENTO DE CONCRETO (a/c = 0.70) FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los resultados del ensayo de asentamiento registrados en laboratorio:

Tabla V.10: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	ASENTAMIENTO	UND	ASENTAMIENTO PROMEDIO	UND
0.70	0.50%	S10-1	18.80	cm	19.13	cm
		S10-2	19.60	cm		
		S10-3	19.00	cm		

Fuente: Elaboración propia.

**5.1.1.3.3. ASENTAMIENTO DE CONCRETO (a/c = 0.70)
FIBRORREFORZADO AL 1.00%**

Se muestran los resultados del ensayo de asentamiento registrados en laboratorio:

Tabla V.11: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	ASENTAMIENTO	UND	ASENTAMIENTO PROMEDIO	UND
0.70	1.00%	S11-1	12.00	cm	12.47	cm
		S11-2	12.90	cm		
		S11-3	12.50	cm		

Fuente: Elaboración propia.

**5.1.1.3.4. ASENTAMIENTO DE CONCRETO (a/c = 0.70)
FIBRORREFORZADO AL 2.00%**

Se muestran los resultados del ensayo de asentamiento registrados en laboratorio:

Tabla V.12: Resultados en (cm) del ensayo de asentamiento en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	ASENTAMIENTO	UND	ASENTAMIENTO PROMEDIO	UND
0.70	2.00%	S12-1	5.50	cm	5.83	cm
		S12-2	6.00	cm		
		S12-3	6.00	cm		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. RESULTADOS DEL ENSAYO DEL PESO UNITARIO (NTP 339.046)**5.1.2.1. PESOS UNITARIOS DE CONCRETOS CON RELACIÓN (a/c = 0.60)****5.1.2.1.1. PESO UNITARIO DE CONCRETO (a/c = 0.60) PATRÓN**

Se muestran los datos del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.13: Datos del ensayo de peso unitario en concreto patrón (a/c) = 0.60

ITEM	VALOR	UND
PESO DE RECIPIENTE	4.98	kg
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	0.333	pie ³
PESOS REGISTRADOS DEL ENSAYO		
RECIPIENTE + MUESTRA S1-1	27.10	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S1-2	27.15	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S1-3	27.11	kg

Nota: 1 pie³ <> 0.0283168 m³.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos de laboratorio, se calcularon los pesos unitarios de las muestras con la expresión indicada en el CAPITULO IV - 4.1.2. Se muestran los resultados del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.14: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto patrón (a/c) = 0.60

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	PESO UNITARIO	UND	PESO UNITARIO PROMEDIO	UND
0.60	0.00%	S1-1	2343.48	Kg/m ³	2345.60	Kg/m ³
		S1-2	2348.78	Kg/m ³		
		S1-3	2344.54	Kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.1.2. PESO UNITARIO DE CONCRETO (a/c = 0.60) FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los datos del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.15: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento

ITEM	VALOR	UND
PESO DE RECIPIENTE	4.98	kg
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	0.333	pie ³
PESOS REGISTRADOS DEL ENSAYO		
RECIPIENTE + MUESTRA S2-1	27.14	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S2-2	27.16	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S2-3	27.12	kg

Nota: 1 pie³ <> 0.0283168 m³.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos de laboratorio, se calcularon los pesos unitarios de las muestras con la expresión indicada en el CAPITULO IV - 4.1.2. Se muestran los resultados del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.16: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	PESO UNITARIO	UND	PESO UNITARIO PROMEDIO	UND
0.60	0.50%	S2-1	2347.72	Kg/m ³	2347.72	Kg/m ³
		S2-2	2349.84	Kg/m ³		
		S2-3	2345.60	Kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.1.3. PESO UNITARIO DE CONCRETO (a/c = 0.60) FIBRORREFORZADO AL 1.00%

Se muestran los datos del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.17: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento

ITEM	VALOR	UND
PESO DE RECIPIENTE	4.98	kg
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	0.333	pie ³
PESOS REGISTRADOS DEL ENSAYO		
RECIPIENTE + MUESTRA S3-1	27.13	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S3-2	27.21	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S3-3	27.14	kg

Nota: 1 pie³ <> 0.0283168 m³.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos de laboratorio, se calcularon los pesos unitarios de las muestras con la expresión indicada en el CAPITULO IV - 4.1.2. Se muestran los resultados del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.18: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	PESO UNITARIO	UND	PESO UNITARIO PROMEDIO	UND
0.60	1.00%	S3-1	2346.66	Kg/m ³	2349.84	Kg/m ³
		S3-2	2355.14	Kg/m ³		
		S3-3	2347.72	Kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.1.4. PESO UNITARIO DE CONCRETO (a/c = 0.60) FIBRORREFORZADO AL 2.00%

Se muestran los datos del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.19: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento

ITEM	VALOR	UND
PESO DE RECIPIENTE	4.98	kg
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	0.333	pie ³
PESOS REGISTRADOS DEL ENSAYO		
RECIPIENTE + MUESTRA S4-1	27.16	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S4-2	27.21	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S4-3	27.20	kg

Nota: 1 pie³ <> 0.0283168 m³.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos de laboratorio, se calcularon los pesos unitarios de las muestras con la expresión indicada en el CAPITULO IV - 4.1.2. Se muestran los resultados del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.20: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.60 fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	PESO UNITARIO	UND	PESO UNITARIO PROMEDIO	UND
0.60	2.00%	S4-1	2349.84	Kg/m ³	2353.02	Kg/m ³
		S4-2	2355.14	Kg/m ³		
		S4-3	2354.08	Kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.2. PESOS UNITARIOS DE CONCRETOS CON RELACIÓN (a/c = 0.65)

5.1.2.2.1. PESO UNITARIO EN CONCRETO (a/c = 0.65) PATRÓN

Se muestran los datos del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.21: Datos del ensayo de peso unitario en concreto patrón (a/c) = 0.65

ITEM	VALOR	UND
PESO DE RECIPIENTE	4.98	kg
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	0.333	pie ³
PESOS REGISTRADOS DEL ENSAYO		
RECIPIENTE + MUESTRA S5-1	27.05	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S5-2	27.04	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S5-3	27.09	kg

Nota: 1 pie³ <> 0.0283168 m³.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos de laboratorio, se calcularon los pesos unitarios de las muestras con la expresión indicada en el CAPITULO IV - 4.1.2. Se muestran los resultados del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.22: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto patrón (a/c) = 0.65

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	PESO UNITARIO	UND	PESO UNITARIO PROMEDIO	UND
0.65	0.00%	S5-1	2338.18	Kg/m ³	2339.24	Kg/m ³
		S5-2	2337.12	Kg/m ³		
		S5-3	2342.42	Kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.2.2. PESO UNITARIO DE CONCRETO (a/c = 0.65) FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los datos del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.23: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento

ITEM	VALOR	UND
PESO DE RECIPIENTE	4.98	kg
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	0.333	pie ³
PESOS REGISTRADOS DEL ENSAYO		
RECIPIENTE + MUESTRA S6-1	27.08	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S6-2	27.10	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S6-3	27.06	kg

Nota: 1 pie³ <> 0.0283168 m³.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos de laboratorio, se calcularon los pesos unitarios de las muestras con la expresión indicada en el CAPITULO IV - 4.1.2. Se muestran los resultados del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.24: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	PESO UNITARIO	UND	PESO UNITARIO PROMEDIO	UND
0.65	0.50%	S6-1	2341.36	Kg/m ³	2341.36	Kg/m ³
		S6-2	2343.48	Kg/m ³		
		S6-3	2339.24	Kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.2.3. PESO UNITARIO DE CONCRETO (a/c = 0.65) FIBRORREFORZADO AL 1.00%

Se muestran los datos del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.25: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento

ITEM	VALOR	UND
PESO DE RECIPIENTE	4.98	kg
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	0.333	pie ³
PESOS REGISTRADOS DEL ENSAYO		
RECIPIENTE + MUESTRA S7-1	27.10	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S7-2	27.10	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S7-3	27.07	kg

Nota: 1 pie³ <> 0.0283168 m³.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos de laboratorio, se calcularon los pesos unitarios de las muestras con la expresión indicada en el CAPITULO IV - 4.1.2. Se muestran los resultados del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.26: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	PESO UNITARIO	UND	PESO UNITARIO PROMEDIO	UND
0.65	1.00%	S7-1	2343.48	Kg/m ³	2342.42	Kg/m ³
		S7-2	2343.48	Kg/m ³		
		S7-3	2340.30	Kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.2.4. PESO UNITARIO DE CONCRETO ($a/c = 0.65$) FIBRORREFORZADO AL 2.00%

Se muestran los datos del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.27: Datos del ensayo de peso unitario en concreto ($a/c = 0.65$) fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento

ITEM	VALOR	UND
PESO DE RECIPIENTE	4.98	kg
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	0.333	pie^3
PESOS REGISTRADOS DEL ENSAYO		
RECIPIENTE + MUESTRA S8-1	27.16	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S8-2	27.11	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S8-3	27.12	kg

Nota: $1 pie^3 \leftrightarrow 0.0283168 m^3$.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos de laboratorio, se calcularon los pesos unitarios de las muestras con la expresión indicada en el CAPITULO IV - 4.1.2. Se muestran los resultados del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.28: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto ($a/c = 0.65$) fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	PESO UNITARIO	UND	PESO UNITARIO PROMEDIO	UND
0.65	2.00%	S8-1	2349.84	Kg/m^3	2346.66	Kg/m^3
		S8-2	2344.54	Kg/m^3		
		S8-3	2345.60	Kg/m^3		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.3. PESOS UNITARIOS DE CONCRETOS CON RELACIÓN (a/c = 0.70)

5.1.2.3.1. PESO UNITARIO DE CONCRETO (a/c = 0.70) PATRÓN

Se muestran los datos del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.29: Datos del ensayo de peso unitario en concreto patrón (a/c) = 0.70

ITEM	VALOR	UND
PESO DE RECIPIENTE	4.98	kg
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	0.333	pie ³
PESOS REGISTRADOS DEL ENSAYO		
RECIPIENTE + MUESTRA S9-1	27.03	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S9-2	27.01	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S9-3	26.99	kg

Nota: 1 pie³ <> 0.0283168 m³.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos de laboratorio, se calcularon los pesos unitarios de las muestras con la expresión indicada en el CAPITULO IV - 4.1.2. Se muestran los resultados del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.30: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto patrón (a/c) = 0.70

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	PESO UNITARIO	UND	PESO UNITARIO PROMEDIO	UND
0.70	0.00%	S9-1	2336.07	Kg/m ³	2333.95	Kg/m ³
		S9-2	2333.95	Kg/m ³		
		S9-3	2331.83	Kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.3.2. PESO UNITARIO DE CONCRETO ($a/c = 0.70$) FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los datos del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.31: Datos del ensayo de peso unitario en concreto ($a/c = 0.70$) fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento

ITEM	VALOR	UND
PESO DE RECIPIENTE	4.98	kg
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	0.333	pie^3
PESOS REGISTRADOS DEL ENSAYO		
RECIPIENTE + MUESTRA S10-1	27.03	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S10-2	27.05	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S10-3	27.01	kg

Nota: $1 pie^3 \leftrightarrow 0.0283168 m^3$.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos de laboratorio, se calcularon los pesos unitarios de las muestras con la expresión indicada en el CAPITULO IV - 4.1.2. Se muestran los resultados del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.32: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto ($a/c = 0.70$) fibrorreforzado al 0.50% del peso del cemento

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	PESO UNITARIO	UND	PESO UNITARIO PROMEDIO	UND
0.70	0.50%	S10-1	2336.07	Kg/m^3	2336.07	Kg/m^3
		S10-2	2338.18	Kg/m^3		
		S10-3	2333.95	Kg/m^3		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.3.3. PESO UNITARIO DE CONCRETO (a/c = 0.70) FIBRORREFORZADO AL 1.00%

Se muestran los datos del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.33: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento

ITEM	VALOR	UND
PESO DE RECIPIENTE	4.98	kg
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	0.333	pie ³
PESOS REGISTRADOS DEL ENSAYO		
RECIPIENTE + MUESTRA S11-1	27.03	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S11-2	27.06	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S11-3	27.03	kg

Nota: 1 pie³ <> 0.0283168 m³.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos de laboratorio, se calcularon los pesos unitarios de las muestras con la expresión indicada en el CAPITULO IV - 4.1.2. Se muestran los resultados del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.34: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 1.00% del peso del cemento

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	PESO UNITARIO	UND	PESO UNITARIO PROMEDIO	UND
0.70	1.00%	S11-1	2336.07	Kg/m ³	2337.12	Kg/m ³
		S11-2	2339.24	Kg/m ³		
		S11-3	2336.07	Kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.3.4. PESO UNITARIO DE CONCRETO (a/c = 0.70) FIBRORREFORZADO AL 2.00%

Se muestran los datos del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.35: Datos del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento

ITEM	VALOR	UND
PESO DE RECIPIENTE	4.98	kg
VOLUMEN NOMINAL DEL RECIPIENTE	0.333	pie ³
PESOS REGISTRADOS DEL ENSAYO		
RECIPIENTE + MUESTRA S12-1	27.04	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S12-2	27.09	kg
RECIPIENTE + MUESTRA S12-3	27.08	kg

Nota: 1 pie³ <> 0.0283168 m³.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos de laboratorio, se calcularon los pesos unitarios de las muestras con la expresión indicada en el CAPITULO IV - 4.1.2. Se muestran los resultados del ensayo de peso unitario registrados en laboratorio:

Tabla V.36: Resultados del ensayo de peso unitario en concreto (a/c) = 0.70 fibrorreforzado al 2.00% del peso del cemento

RELACION (a/c)	% FIBRA SINTÉTICA	MUESTRA	PESO UNITARIO	UND	PESO UNITARIO PROMEDIO	UND
0.70	2.00%	S12-1	2337.12	Kg/m ³	2340.30	Kg/m ³
		S12-2	2342.42	Kg/m ³		
		S12-3	2341.36	Kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3. RESULTADOS DE ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGUA (NTP 339.082)

El ensayo de tiempo de fragua se aplicó a las muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación (a/c) = 0.65.

5.1.3.1. TIEMPO DE FRAGUA DE CONCRETO (a/c = 0.65) PATRÓN

Se muestran los datos del ensayo de tiempo de fragua registrados en laboratorio:

Tabla V.37: Datos del ensayo de tiempo de fragua en concreto patrón (a/c) = 0.65

INICIO DE ENSAYO (hh:mm)	HORA DE LECTURA (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Tiempo transcurrido (minutos)	Diámetro de la aguja (pulg.)		Área (pulg ²)	Fuerza promedio (libras)	Resistencia promedio a la penetración (Psi)
				Fracción	Entero			
08:18	12:20	04:02	242.00	1 1/8	1.125	1.000	117	117
	13:00	04:42	282.00	13/16	0.813	0.500	92	184
	13:35	05:17	317.00	9/16	0.563	0.250	83	332
	14:15	05:57	357.00	3/8	0.375	0.100	38	380
	15:25	07:07	427.00	1/4	0.250	0.050	40	800
	16:30	08:12	492.00	3/16	0.188	0.025	59	2360
	17:30	09:12	552.00	3/16	0.188	0.025	109	4360

Fuente: Elaboración propia.

Se graficaron los datos de Resistencia a la Penetración vs Tiempo de Fragua y se calculó por regresión la línea de tendencia exponencial.

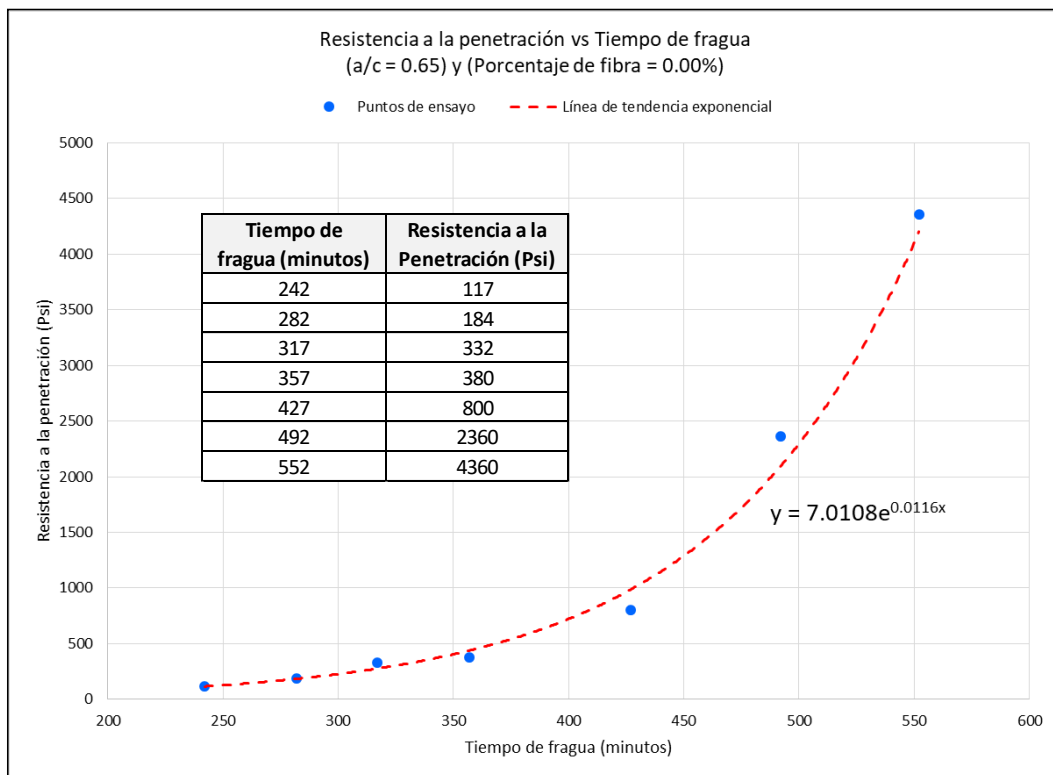


Figura V-1: Línea de tendencia exponencial de la Resistencia a la penetración vs Tiempo de fragua, en concreto patrón (a/c) = 0.65

Fuente: Elaboración propia.

La función exponencial que relaciona la “Resistencia a la penetración” y el “Tiempo de fragua” es:

$$Y_P = 7.0108(e^{0.0116X_F})$$

Donde:

Y_P : Resistencia a la penetración en Psi.

X_F : Tiempo de fragua en minutos.

Despejando la función anterior, se obtiene el “Tiempo de fragua” en función de la “Resistencia a la penetración”:

$$X_F = \frac{\ln\left(\frac{Y_P}{7.0108}\right)}{0.0116}$$

Calculando el tiempo de fragua inicial correspondiente a una resistencia a la penetración de 500 Psi:

$$X_{500} = \frac{\ln\left(\frac{500}{7.0108}\right)}{0.0116} = 368 \text{ minutos}$$

Calculando el tiempo de fragua final correspondiente a una resistencia a la penetración de 4000 Psi:

$$X_{4000} = \frac{\ln\left(\frac{4000}{7.0108}\right)}{0.0116} = 547 \text{ minutos}$$

En resumen:

Tabla V.38: Tiempo de fragua inicial y final en concreto patrón (a/c) = 0.65

ITEM	Resistencia a la Penetración (Psi)	Tiempo de fragua (minutos)
FRAGUA INICIAL	500	368
FRAGUA FINAL	4000	547

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.2. TIEMPO DE FRAGUA DE CONCRETO (a/c = 0.65), FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los datos del ensayo de tiempo de fragua registrados en laboratorio:

Tabla V.39: Datos del ensayo de tiempo de fragua en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 0.50%

INICIO DE ENSAYO (hh:mm)	HORA DE LECTURA (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Tiempo transcurrido (minutos)	Diametro de la aguja (pulg.)		Area (pulg ²)	Fuerza promedio (libras)	Resistencia promedio a la penetración (Psi)
				Fracción	Entero			
08:41	12:30	03:49	229.00	1 1/8	1.125	1.000	152	152
	13:10	04:29	269.00	13/16	0.813	0.500	119	238
	13:45	05:04	304.00	9/16	0.563	0.250	132	528
	14:25	05:44	344.00	3/8	0.375	0.100	73	730
	15:35	06:54	414.00	1/4	0.250	0.050	68	1360
	16:40	07:59	479.00	3/16	0.188	0.025	97	3880
	17:40	08:59	539.00	3/16	0.188	0.025	177	7080

Fuente: Elaboración propia.

Se graficaron los datos de Resistencia a la Penetración vs Tiempo de Fragua y se calculó por regresión la línea de tendencia exponencial.

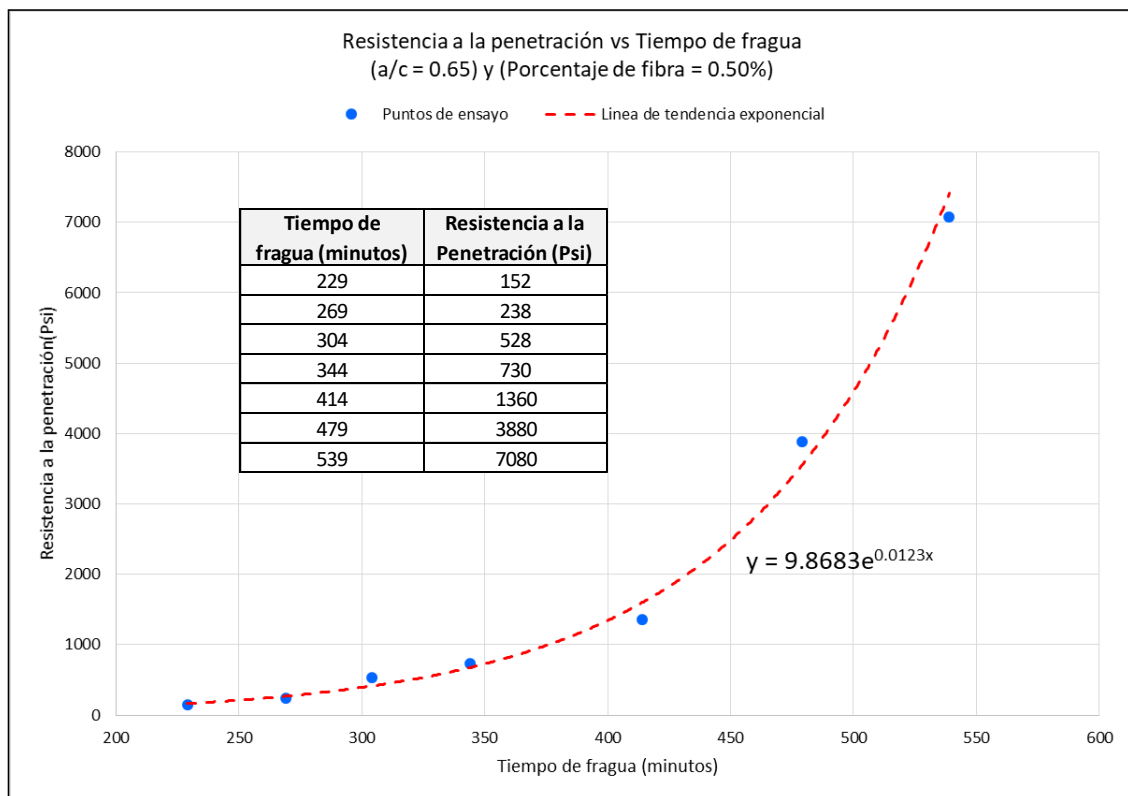


Figura V-2: Línea de tendencia exponencial de la Resistencia a la penetración vs Tiempo de fragua, en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 0.50%

Fuente: Elaboración propia.

La función exponencial que relaciona la “Resistencia a la penetración” y el “Tiempo de fragua” es:

$$Y_P = 9.8683(e^{0.0123X_F})$$

Donde:

Y_P : Resistencia a la penetración en Psi.

X_F : Tiempo de fragua en minutos.

Despejando la función anterior, se obtiene el “Tiempo de fragua” en función de la “Resistencia a la penetración”:

$$X_F = \frac{\ln\left(\frac{Y_P}{9.8683}\right)}{0.0123}$$

Calculando el tiempo de fragua inicial correspondiente a una resistencia a la penetración de 500 Psi:

$$X_{500} = \frac{\ln\left(\frac{500}{9.8683}\right)}{0.0123} = 319 \text{ minutos}$$

Calculando el tiempo de fragua final correspondiente a una resistencia a la penetración de 4000 Psi:

$$X_{4000} = \frac{\ln\left(\frac{4000}{9.8683}\right)}{0.0123} = 488 \text{ minutos}$$

En resumen:

Tabla V.40: Tiempo de fragua inicial y final en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 0.50%

ITEM	Resistencia a la Penetración (Psi)	Tiempo de fragua (minutos)
FRAGUA INICIAL	500	319
FRAGUA FINAL	4000	488

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.3. TIEMPO DE FRAGUA DE CONCRETO (a/c = 0.65), FIBRORREFORZADO AL 1.00%

Se muestran los datos del ensayo de tiempo de fragua registrados en laboratorio:

Tabla V.41: Datos del ensayo de tiempo de fragua en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 1.00%

INICIO DE ENSAYO (hh:mm)	HORA DE LECTURA (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Tiempo transcurrido (minutos)	Diámetro de la aguja (pulg.)		Area (pulg ²)	Fuerza promedio (libras)	Resistencia promedio a la penetración (Psi)
				Fracción	Entero			
08:25	11:30	03:05	185.00	1 1/8	1.125	1.000	122	122
	12:05	03:40	220.00	13/16	0.813	0.500	107	214
	12:40	04:15	255.00	9/16	0.563	0.250	86	344
	13:10	04:45	285.00	3/8	0.375	0.100	41	410
	14:10	05:45	345.00	1/4	0.250	0.050	47	940
	15:05	06:40	400.00	3/16	0.188	0.025	64	2560
	15:50	07:25	445.00	3/16	0.188	0.025	105	4200

Fuente: Elaboración propia.

Se graficaron los datos de Resistencia a la Penetración vs Tiempo de Fragua y se calculó por regresión la línea de tendencia exponencial.

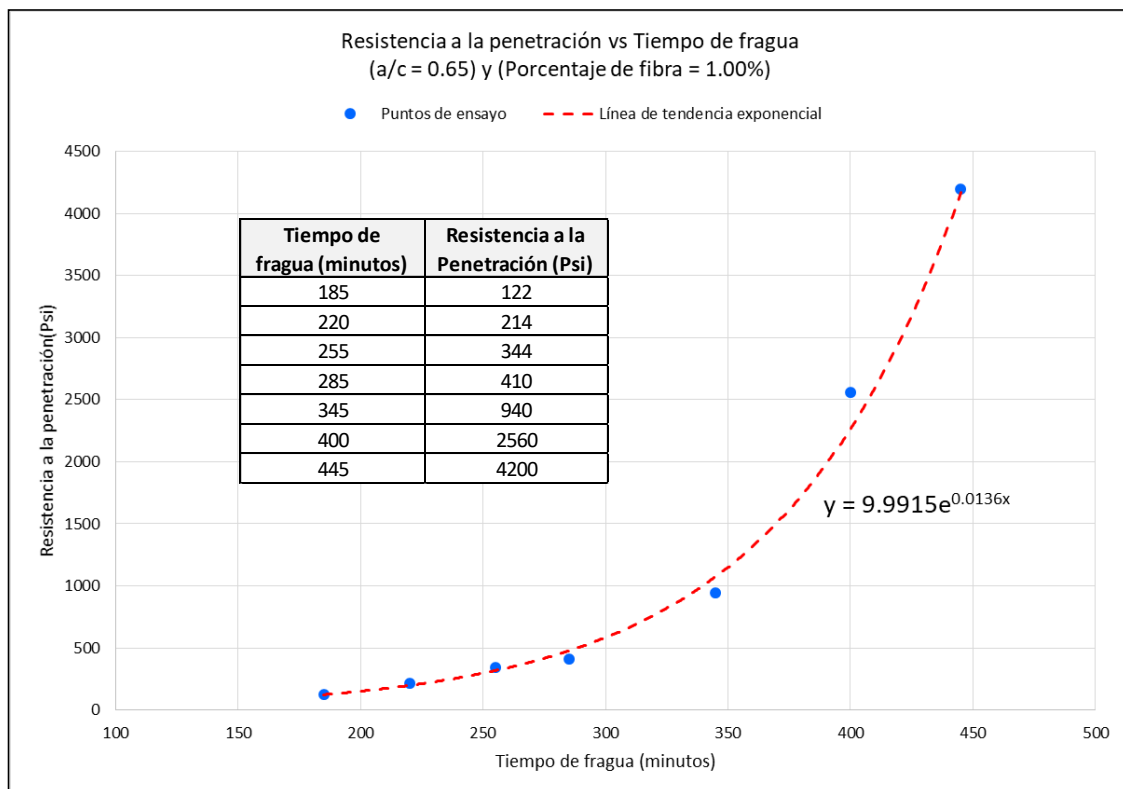


Figura V-3: Línea de tendencia exponencial de la Resistencia a la penetración vs Tiempo de fragua, en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 1.00%

Fuente: Elaboración propia.

La función exponencial que relaciona la “Resistencia a la penetración” y el “Tiempo de fragua” es:

$$Y_P = 9.9915(e^{0.0136X_F})$$

Donde:

Y_P : Resistencia a la penetración en Psi.

X_F : Tiempo de fragua en minutos.

Despejando la función anterior, se obtiene el “Tiempo de fragua” en función de la “Resistencia a la penetración”:

$$X_F = \frac{\ln\left(\frac{Y_P}{9.9915}\right)}{0.0136}$$

Calculando el tiempo de fragua inicial correspondiente a una resistencia a la penetración de 500 Psi:

$$X_{500} = \frac{\ln\left(\frac{500}{9.9915}\right)}{0.0136} = 288 \text{ minutos}$$

Calculando el tiempo de fragua final correspondiente a una resistencia a la penetración de 4000 Psi:

$$X_{4000} = \frac{\ln\left(\frac{4000}{9.9915}\right)}{0.0136} = 441 \text{ minutos}$$

En resumen:

Tabla V.42: Tiempo de fragua inicial y final en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 1.00%

ITEM	Resistencia a la Penetración (Psi)	Tiempo de fragua (minutos)
FRAGUA INICIAL	500	288
FRAGUA FINAL	4000	441

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.4. TIEMPO DE FRAGUA DE CONCRETO (a/c = 0.65), FIBRORREFORZADO AL 2.00%

Se muestran los datos del ensayo de tiempo de fragua registrados en laboratorio:

Tabla V.43: Datos del ensayo de tiempo de fragua en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 2.00%

INICIO DE ENSAYO (hh:mm)	HORA DE LECTURA (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Tiempo transcurrido (minutos)	Diámetro de la aguja (pulg.)		Área (pulg ²)	Fuerza promedio (libras)	Resistencia promedio a la penetración (Psi)
				Fracción	Entero			
08:50	11:40	02:50	170.00	1 1/8	1.125	1.000	190	190
	12:15	03:25	205.00	13/16	0.813	0.500	169	338
	12:50	04:00	240.00	9/16	0.563	0.250	128	512
	13:20	04:30	270.00	3/8	0.375	0.100	102	1020
	14:20	05:30	330.00	1/4	0.250	0.050	200	4000
	15:15	06:25	385.00	3/16	0.188	0.025	249	9960

Fuente: Elaboración propia.

Se graficaron los datos de Resistencia a la Penetración vs Tiempo de Fragua y se calculó por regresión la línea de tendencia exponencial.

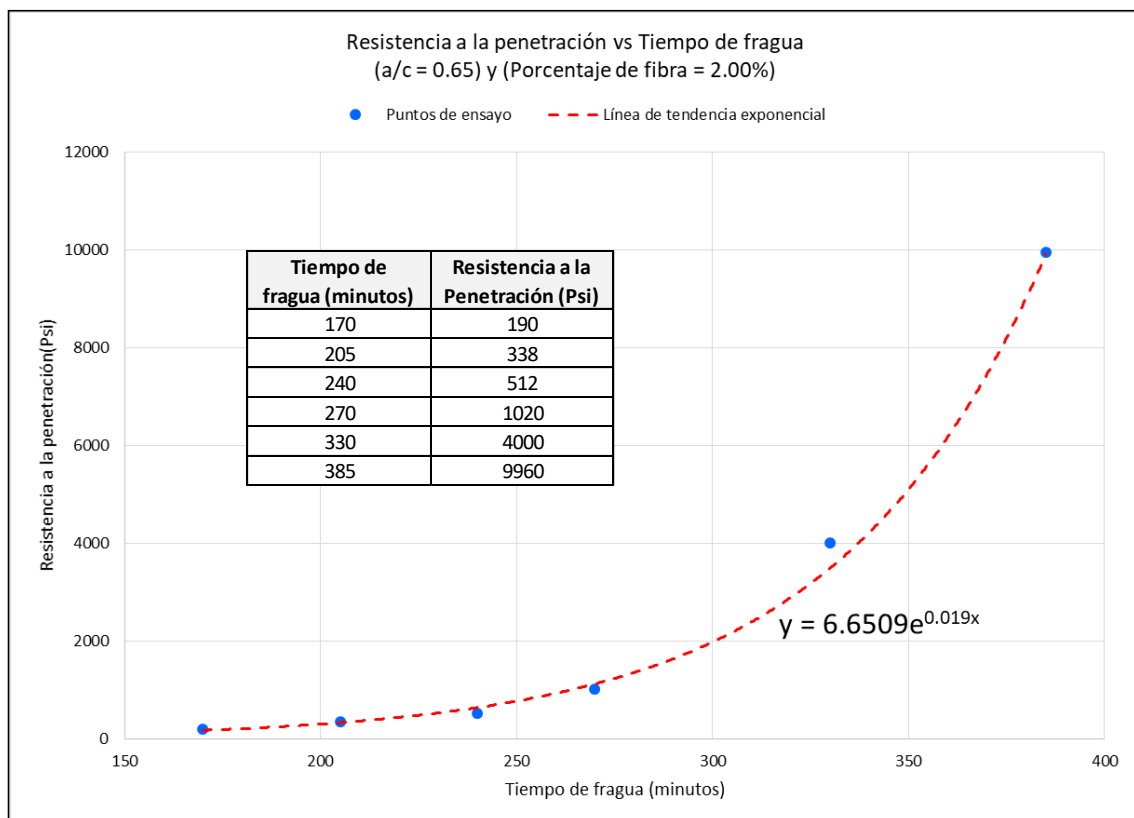


Figura V-4: Línea de tendencia exponencial de la Resistencia a la penetración vs Tiempo de fragua, en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 2.00%

Fuente: Elaboración propia.

La función exponencial que relaciona la “Resistencia a la penetración” y el “Tiempo de fragua” es:

$$Y_P = 6.6509(e^{0.019X_F})$$

Donde:

Y_P : Resistencia a la penetración en Psi.

X_F : Tiempo de fragua en minutos.

Despejando la función anterior, se obtiene el “Tiempo de fragua” en función de la “Resistencia a la penetración”:

$$X_F = \frac{\ln\left(\frac{Y_P}{6.6519}\right)}{0.019}$$

Calculando el tiempo de fragua inicial correspondiente a una resistencia a la penetración de 500 Psi:

$$X_{500} = \frac{\ln\left(\frac{500}{6.6519}\right)}{0.019} = 227 \text{ minutos}$$

Calculando el tiempo de fragua final correspondiente a una resistencia a la penetración de 4000 Psi:

$$X_{4000} = \frac{\ln\left(\frac{4000}{6.6519}\right)}{0.019} = 337 \text{ minutos}$$

En resumen:

Tabla V.44: Tiempo de fragua inicial y final en concreto (a/c) = 0.65 fibrorreforzado al 2.00%

ITEM	Resistencia a la Penetración (Psi)	Tiempo de fragua (minutos)
FRAGUA INICIAL	500	227
FRAGUA FINAL	4000	337

Fuente: Elaboración propia.

5.2. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

5.2.1. RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (NTP 339.034)

Se realizaron ensayos, en las muestras de concreto patrón y fibrorreforzado, a los 7 y 28 días de curado. Con los datos registrados se calculó la resistencia a la compresión del concreto aplicando la expresión del CAPITULO IV - 4.2.1.

Posteriormente se calculó:

La resistencia a la compresión promedio de las muestras.

$$\overline{f'c} = \left(\sum_{i=1}^n f'c_i \right) / n$$

Donde:

$\overline{f'c}$: resistencia a la compresión promedio de la muestra de concreto

$f'c_i$: resistencia a la compresión del concreto en la i – ésima probeta

n : tamaño de la muestra

La desviación típica de la resistencia a la compresión de las muestras.

$$\sigma_c = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (f'c_i - \overline{f'c})^2 \right) / (n - 1)}$$

Donde:

σ_c : desviación típica de la resistencia a la compresión del concreto

El coeficiente de variación de la resistencia a la compresión de las muestras.

$$C.V._c (\%) = \left(\frac{\sigma_c}{\overline{f'c}} \right) \times 100\%$$

Donde:

$C.V._c (\%)$: Coeficiente de variación de la resistencia a la compresión del concreto, expresada en %

5.2.1.1. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE CONCRETOS CON RELACIÓN (a/c = 0.60)

5.2.1.1.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.60) PATRÓN

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.45: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, patrón, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f'c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f'cp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	0.00%	7	P1-1	3769	10.04	9.995	20.52	20.480	19375	246.94	5	244.48	6.34	2.60%
					9.95		20.44							
			P1-2	3838	10.11	10.045	20.73	20.645	18804	237.28	6			
					9.98		20.56							
			P1-3	3777	10.07	10.000	20.46	20.505	19575	249.24	5			
					9.93		20.55							

Nota: En la Tabla VI.11 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).
Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.46: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, patrón, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f'c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f'cp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	0.00%	28	P1-4	3797	10.06	10.015	20.67	20.550	21392	271.56	6	281.63	6.40	2.27%
					9.97		20.43							
			P1-5	3801	10.09	10.025	20.75	20.530	22543	285.60	5			
					9.96		20.31							
			P1-6	3762	10.05	9.990	20.47	20.460	22305	284.56	6			
					9.93		20.45							
			P1-7	3799	10.01	10.000	20.74	20.620	22691	288.91	6			
					9.99		20.50							
			P1-8	3786	10.05	10.015	20.44	20.490	21790	276.60	5			
					9.98		20.54							
			P1-9	3800	10.02	9.985	20.66	20.690	22125	282.56	6			
					9.95		20.72							

Nota: En la Tabla VI.12 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).
Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.1.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.60) FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.47: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f'c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f'cp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	0.50%	7	P2-1	3808	10.08	10.025	20.45	20.550	20601	260.99	3	269.84	9.38	3.48%
					9.97		20.65							
			P2-2	3808	10.05	9.995	20.62	20.675	21943	279.67	3			
					9.94		20.73							
			P2-3	3777	10.02	10.005	20.51	20.465	21136	268.84	3			
					9.99		20.42							

Nota: En la Tabla VI.11 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.48: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f'c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f'cp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	0.50%	28	P2-4	3777	10.08	10.010	20.36	20.445	22163	281.62	3	300.00	12.77	4.26%
					9.94		20.53							
			P2-5	3772	10.05	9.990	20.48	20.500	24679	314.85	3			
					9.93		20.52							
			P2-6	3814	10.04	10.005	20.64	20.665	24513	311.80	5			
					9.97		20.69							
			P2-7	3809	10.09	10.035	20.55	20.515	22905	289.60	3			
					9.98		20.48							
			P2-8	3827	10.02	10.005	20.72	20.735	23816	302.93	5			
					9.99		20.75							
			P2-9	3771	10.06	9.990	20.44	20.490	23450	299.17	3			
					9.92		20.54							

Nota: En la Tabla VI.12 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.1.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.60) FIBRORREFORZADO AL 1.00%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.49: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f'c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f'cp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	1.00%	7	P3-1	3766	10.01 9.95	9.980	20.46 20.51	20.485	22264	284.61	3	287.39	3.84	1.34%
			P3-2	3824	10.07 9.98		10.025							
			P3-3	3816	10.08 9.93	10.005	20.74 20.57	20.655	22939	291.77	3			

Nota: En la Tabla VI.11 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.50: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f'c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f'cp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	1.00%	28	P3-4	3812	10.07 9.95	10.010	20.65 20.58	20.615	25780	327.59	3	325.94	14.09	4.32%
			P3-5	3787	10.06 9.94		10.000							
			P3-6	3777	10.03 9.97	10.000	20.49 20.44	20.465	26000	331.04	3			
			P3-7	3838	10.08 9.97	10.025	20.71 20.67	20.690	27320	346.12	3			
			P3-8	3789	10.01 9.94	9.975	20.66 20.61	20.635	23816	304.76	3			
			P3-9	3773	10.05 9.93	9.990	20.46 20.51	20.485	25854	329.84	5			

Nota: En la Tabla VI.12 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.1.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.60) FIBRORREFORZADO AL 2.00%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.51: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	2.00%	7	P4-1	3792	$\frac{10.03}{9.98}$	10.005	$\frac{20.47}{20.53}$	20.500	22636	287.92	3	292.39	5.36	1.83%
			P4-2	3811	$\frac{10.02}{9.96}$	9.990	$\frac{20.66}{20.67}$	20.665	23384	298.33	3			
			P4-3	3791	$\frac{10.07}{9.96}$	10.015	$\frac{20.42}{20.48}$	20.450	22918	290.92	3			

Nota: En la Tabla VI.11 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.52: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	2.00%	28	P4-4	3830	$\frac{10.06}{9.99}$	10.025	$\frac{20.64}{20.60}$	20.620	27151	343.97	3	322.95	13.75	4.26%
			P4-5	3782	$\frac{10.03}{9.95}$	9.990	$\frac{20.55}{20.46}$	20.505	23802	303.66	3			
			P4-6	3811	$\frac{10.07}{9.98}$	10.025	$\frac{20.48}{20.56}$	20.520	24805	314.25	3			
			P4-7	3797	$\frac{10.07}{9.93}$	10.000	$\frac{20.52}{20.57}$	20.545	25366	322.97	3			
			P4-8	3828	$\frac{10.08}{9.96}$	10.020	$\frac{20.67}{20.59}$	20.630	25425	322.43	3			
			P4-9	3793	$\frac{10.04}{9.97}$	10.005	$\frac{20.48}{20.53}$	20.505	25977	330.42	3			

Nota: En la Tabla VI.12 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.2. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE CONCRETOS CON RELACIÓN (a/c = 0.65)

5.2.1.2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.65) PATRÓN

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.53: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, patrón, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	0.00%	7	P5-1	3769	10.02	9.985	20.66	20.575	16289	208.02	2	206.60	3.32	1.61%
					9.95		20.49							
			P5-2	3805	10.08	10.030	20.52	20.585	16512	208.98	3			
					9.98		20.65							
			P5-3	3777	10.07	10.015	20.48	20.495	15977	202.81	2			
					9.96		20.51							

Nota: En la Tabla VI.11 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).
Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.54: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, patrón, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	0.00%	28	P5-4	3783	10.08	10.015	20.52	20.530	18362	233.09	3	231.36	7.56	3.27%
					9.95		20.54							
			P5-5	3766	10.06	10.005	20.46	20.475	19149	243.57	3			
					9.95		20.49							
			P5-6	3800	10.07	10.025	20.61	20.580	18060	228.80	2			
					9.98		20.55							
			P5-7	3756	10.05	9.995	20.46	20.465	17676	225.28	3			
					9.94		20.47							
			P5-8	3749	10.01	9.975	20.49	20.510	18358	234.91	2			
					9.94		20.53							
			P5-9	3797	10.08	10.025	20.64	20.565	17565	222.54	3			
					9.97		20.49							

Nota: En la Tabla VI.12 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).
Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.2.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.65) FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.55: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	0.50%	7	P6-1	3794	10.05	10.015	20.61	20.570	19170	243.35	3	241.54	3.04	1.26%
					9.98		20.53							
			P6-2	3787	10.04	9.995	20.65	20.615	19085	243.24	3			
					9.95		20.58							
			P6-3	3771	10.02	9.995	20.57	20.530	18677	238.04	3			
					9.97		20.49							

Nota: En la Tabla VI.11 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.56: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	0.50%	28	P6-4	3780	10.06	10.000	20.52	20.555	19274	245.41	3	252.33	4.42	1.75%
					9.94		20.59							
			P6-5	3779	10.01	9.985	20.53	20.610	19680	251.32	2			
					9.96		20.69							
			P6-6	3782	10.05	10.005	20.41	20.545	19860	252.61	3			
					9.96		20.68							
			P6-7	3767	10.09	10.005	20.47	20.465	20108	255.77	3			
					9.92		20.46							
			P6-8	3775	10.02	9.970	20.71	20.650	20156	258.18	3			
					9.92		20.59							
			P6-9	3813	10.07	10.010	20.65	20.695	19727	250.67	3			
					9.95		20.74							

Nota: En la Tabla VI.12 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.2.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.65) FIBRORREFORZADO AL 1.00%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.57: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	1.00%	7	P7-1	3799	10.06	9.990	20.59	20.690	19957	254.61	3	263.67	9.20	3.49%
					9.92		20.79							
			P7-2	3799	10.05	9.990	20.65	20.690	21399	273.00	3			
					9.93		20.73							
			P7-3	3777	10.07	10.020	20.42	20.450	20771	263.41	3			
					9.97		20.48							

Nota: En la Tabla VI.11 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.58: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	1.00%	28	P7-4	3758	10.02	9.970	20.64	20.550	22356	286.37	2	284.34	10.16	3.57%
					9.92		20.46							
			P7-5	3793	10.07	10.020	20.62	20.535	22200	281.53	3			
					9.97		20.45							
			P7-6	3784	10.06	10.010	20.44	20.525	21073	267.77	3			
					9.96		20.61							
			P7-7	3753	10.03	9.985	20.51	20.460	22406	286.14	3			
					9.94		20.41							
			P7-8	3812	10.01	10.000	20.70	20.720	22370	284.83	3			
					9.99		20.74							
			P7-9	3780	10.08	10.020	20.45	20.465	23608	299.39	3			
					9.96		20.48							

Nota: En la Tabla VI.12 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.2.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.65) FIBRORREFORZADO AL 2.00%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.59: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	2.00%	7	P8-1	3763	10.02	9.965	20.69	20.560	19811	254.01	3	259.66	6.08	2.34%
					9.91		20.43							
			P8-2	3767	10.08	10.005	20.41	20.420	20354	258.89	3			
					9.93		20.43							
			P8-3	3765	10.09	10.000	20.42	20.430	20899	266.09	3			
					9.91		20.44							

Nota: En la Tabla VI.11 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).
Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.60: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	2.00%	28	P8-4	3811	10.09	10.020	20.69	20.595	23254	294.89	3	283.06	10.15	3.58%
					9.95		20.50							
			P8-5	3783	10.07	9.985	20.56	20.585	22277	284.49	3			
					9.90		20.61							
			P8-6	3773	10.03	10.000	20.46	20.470	21857	278.29	3			
					9.97		20.48							
			P8-7	3793	10.08	10.005	20.56	20.560	23186	294.92	3			
					9.93		20.56							
			P8-8	3839	10.08	10.030	20.73	20.705	21638	273.86	3			
					9.98		20.68							
P8-9	3797	10.07	10.030	20.52	20.480	21483	271.90	3						
		9.99		20.44										

Nota: En la Tabla VI.12 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).
Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.3. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE CONCRETOS CON RELACIÓN (a/c = 0.70)

5.2.1.3.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.70) PATRÓN

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.61: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, patrón, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f'c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f'cp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	0.00%	7	P9-1	3773	10.07	10.025	20.44	20.480	12869	163.04	3	158.00	4.92	3.11%
					9.98		20.52							
			P9-2	3809	10.10	10.040	20.67	20.615	12129	153.21	3			
					9.98		20.56							
			P9-3	3759	10.03	9.990	20.46	20.545	12365	157.75	3			
					9.95		20.63							

Nota: En la Tabla VI.11 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).
Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.62: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, patrón, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f'c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f'cp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	0.00%	28	P9-4	3736	10.02	9.970	20.56	20.505	14012	179.48	3	172.64	5.87	3.40%
					9.92		20.45							
			P9-5	3762	10.05	10.005	20.41	20.505	13793	175.44	4			
					9.96		20.60							
			P9-6	3762	10.04	10.000	20.42	20.525	13471	171.51	3			
					9.96		20.63							
			P9-7	3780	10.07	10.010	20.67	20.580	13596	172.77	3			
					9.95		20.49							
			P9-8	3820	10.07	10.025	20.76	20.735	12789	162.03	3			
					9.98		20.71							
			P9-9	3761	10.04	9.985	20.71	20.580	13674	174.62	4			
					9.93		20.45							

Nota: En la Tabla VI.12 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).
Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.3.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.70) FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.63: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	0.50%	7	P10-1	3772	10.04	9.990	20.54	20.600	14412	183.87	2	180.71	5.02	2.78%
					9.94		20.66							
			P10-2	3749	10.04	9.975	20.50	20.535	14328	183.35	2			
					9.91		20.57							
			P10-3	3801	10.08	10.020	20.59	20.635	13794	174.93	5			
					9.96		20.68							

Nota: En la Tabla VI.11 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.64: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	0.50%	28	P10-4	3820	10.07	10.020	20.78	20.735	15202	192.79	2	191.25	3.87	2.02%
					9.97		20.69							
			P10-5	3739	10.01	9.965	20.47	20.525	14914	191.23	2			
					9.92		20.58							
			P10-6	3773	10.02	9.975	20.59	20.670	14503	185.58	2			
					9.93		20.75							
			P10-7	3745	10.03	9.970	20.52	20.535	15164	194.24	2			
					9.91		20.55							
			P10-8	3747	10.08	9.995	20.44	20.445	14745	187.93	5			
					9.91		20.45							
P10-9	3750	10.05	9.990	20.52	20.480	15344	195.76	2						
		9.93		20.44										

Nota: En la Tabla VI.12 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.3.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.70) FIBRORREFORZADO AL 1.00%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.65: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	1.00%	7	P11-1	3792	10.03	10.005	20.67	20.640	15170	192.96	3	194.14	4.99	2.57%
					9.98		20.61							
			P11-2	3763	10.05	9.995	20.41	20.520	15661	199.61	2			
					9.94		20.63							
			P11-3	3767	10.02	9.985	20.73	20.585	14866	189.85	3			
					9.95		20.44							

Nota: En la Tabla VI.11 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.66 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	1.00%	28	P11-4	3799	10.09	10.030	20.65	20.575	16463	205.89	3	209.77	5.63	2.68%
					9.97		20.50							
			P11-5	3765	10.03	9.990	20.68	20.550	16437	208.03	5			
					9.95		20.42							
			P11-6	3781	10.05	9.995	20.72	20.620	17262	217.61	3			
					9.94		20.52							
			P11-7	3753	10.03	9.985	20.60	20.505	16343	206.84	3			
					9.94		20.41							
			P11-8	3754	10.04	9.970	20.56	20.575	17104	216.04	5			
					9.90		20.59							
			P11-9	3759	10.07	9.990	20.61	20.520	16263	204.20	3			
					9.91		20.43							

Nota: En la Tabla VI.12 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.3.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.70) FIBRORREFORZADO AL 2.00%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.67: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	2.00%	7	P12-1	3781	10.08	9.995	20.63	20.590	15159	193.21	3	192.03	5.29	2.76%
					9.91		20.55							
			P12-2	3770	10.03	9.990	20.54	20.550	14599	186.25	3			
					9.95		20.56							
			P12-3	3806	10.07	10.015	20.68	20.645	15491	196.64	3			
					9.96		20.61							

Nota: En la Tabla VI.11 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.68: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Axial Máxima (kg)	Resistencia a la compresión f _c (kg/cm ²)	Tipo de falla	Resistencia a la compresión promedio f _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	2.00%	28	P12-4	3792	10.05	9.995	20.67	20.650	16914	215.57	3	208.39	5.92	2.84%
					9.94		20.63							
			P12-5	3796	10.06	10.025	20.67	20.550	16557	209.76	3			
					9.99		20.43							
			P12-6	3780	10.07	10.015	20.54	20.505	16129	204.75	5			
					9.96		20.47							
			P12-7	3821	10.07	10.030	20.74	20.665	16106	203.84	3			
					9.99		20.59							
			P12-8	3753	10.02	9.985	20.43	20.480	16823	214.84	3			
					9.95		20.53							
			P12-9	3808	10.05	10.020	20.78	20.635	15895	201.57	3			
					9.99		20.49							

Nota: En la Tabla VI.12 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.60% suscrito en la norma NTP 339.034 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIÁMETRAL (NTP 339.084)

Se realizaron ensayos, en las muestras de concreto patrón y fibrorreforzado, a los 7 y 28 días de curado. Con los datos registrados se calculó la resistencia a la tracción del concreto aplicando la expresión del CAPITULO IV - 4.2.2.

Posteriormente se calculó:

La resistencia a la tracción promedio de las muestras.

$$\overline{T'c} = \left(\sum_{i=1}^n T'c_i \right) / n$$

Donde:

$\overline{T'c}$: resistencia a la tracción promedio de la muestra de concreto

$T'c_i$: resistencia a la tracción del concreto en la i – ésima probeta

n : tamaño de la muestra

La desviación típica de la resistencia a la tracción de las muestras.

$$\sigma_T = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (T'c_i - \overline{T'c})^2 \right) / (n - 1)}$$

Donde:

σ_T : desviación típica de la resistencia a la tracción del concreto

El coeficiente de variación de la resistencia a la tracción de las muestras.

$$C.V.T (\%) = \left(\frac{\sigma_T}{\overline{T'c}} \right) \times 100\%$$

Donde:

$C.V.T (\%)$: Coeficiente de variación de la resistencia a la tracción del concreto, expresada en %

5.2.2.1. RESISTENCIAS A LA TRACCIÓN DE CONCRETOS CON RELACIÓN (a/c = 0.60)

5.2.2.1.1. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.60) PATRÓN

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la tracción, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.69: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, patrón, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	0.00%	7	P1-10	3798	10.06 9.99	10.025	20.48 20.55	20.515	8580	26.56	27.37	0.70	2.57%
			P1-11	3792	10.05 9.95	10.000	20.41 20.76	20.585	8983	27.78			
			P1-12	3782	10.07 9.93	10.000	20.57 20.49	20.530	8957	27.77			

Nota: En la Tabla VI.41 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.70: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, patrón, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	0.00%	28	P1-13	3790	10.06 9.91	9.985	20.61 20.66	20.635	9777.2	30.02	31.51	1.26	4.00%
			P1-14	3785	10.07 9.97	10.020	20.43 20.50	20.465	10203.8	31.58			
			P1-15	3830	10.09 9.99	10.040	20.79 20.46	20.625	10977.5	33.31			
			P1-16	3789	10.03 9.97	10.000	20.45 20.68	20.565	9873.4	30.64			
			P1-17	3802	10.03 9.98	10.005	20.43 20.80	20.615	10503.4	32.63			
			P1-18	3767	10.07 9.94	10.005	20.42 20.44	20.430	9962.5	30.84			

Nota: En la Tabla VI.42 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.2. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.60) FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la tracción, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.71: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	0.50%	7	P2-10	3786	10.03	9.985	20.75	20.595	9292	28.77	27.73	0.97	3.51%
					9.94		20.44						
			P2-11	3805	10.10	10.015	20.64	20.575	8927	27.58			
					9.93		20.51						
			P2-12	3760	10.02	9.970	20.43	20.515	8621	26.83			
					9.92		20.60						

Nota: En la Tabla VI.41 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.72: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	0.50%	28	P2-13	3809	10.03	10.000	20.64	20.655	10497	32.35	31.71	0.41	1.30%
					9.97		20.67						
			P2-14	3839	10.05	10.015	20.77	20.760	10223	31.30			
					9.98		20.75						
			P2-15	3807	10.02	9.995	20.77	20.665	10131	31.23			
					9.97		20.56						
			P2-16	3792	10.04	9.980	20.63	20.650	10278	31.75			
					9.92		20.67						
			P2-17	3805	10.05	9.985	20.65	20.700	10302	31.73			
					9.92		20.75						
			P2-18	3788	10.04	9.970	20.80	20.670	10325	31.90			
					9.90		20.54						

Nota: En la Tabla VI.42 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.3. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.60) FIBRORREFORZADO AL 1.00%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la tracción, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.73: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	1.00%	7	P3-10	3797	10.01	9.960	20.80	20.740	9528	29.13	28.08	0.99	3.52%
					9.91		20.68						
			P3-11	3785	10.10	10.015	20.42	20.445	9052	27.94			
					9.93		20.47						
			P3-12	3785	10.03	9.965	20.53	20.655	8788	27.17			
					9.90		20.78						

Nota: En la Tabla VI.41 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.74: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	1.00%	28	P3-13	3826	10.09	10.030	20.48	20.605	10502	32.35	32.59	1.66	5.10%
					9.97		20.73						
			P3-14	3805	10.03	9.995	20.51	20.635	10723	33.10			
					9.96		20.76						
			P3-15	3800	10.03	10.010	20.43	20.550	10981	33.98			
					9.99		20.67						
			P3-16	3754	10.02	9.960	20.49	20.505	9970	31.08			
					9.90		20.52						
			P3-17	3816	10.10	10.025	20.43	20.575	11234	34.67			
					9.95		20.72						
			P3-18	3797	10.10	10.040	20.41	20.410	9776	30.37			
					9.98		20.41						

Nota: En la Tabla VI.42 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.1.4. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.60) FIBRORREFORZADO AL 2.00%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la tracción, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.75: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	2.00%	7	P4-10	3806	10.01	9.975	20.65	20.700	9941	30.65	29.05	1.40	4.84%
					9.94		20.75						
			P4-11	3770	10.07	9.995	20.41	20.420	8985	28.03			
					9.92		20.43						
			P4-12	3824	10.01	9.990	20.72	20.735	9263	28.47			
					9.97		20.75						

Nota: En la Tabla VI.41 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.76: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	2.00%	28	P4-13	3795	10.02	9.995	20.55	20.555	11115.8	34.44	33.62	1.11	3.29%
					9.97		20.56						
			P4-14	3785	10.08	9.990	20.50	20.520	10415.6	32.35			
					9.90		20.54						
			P4-15	3801	10.03	9.975	20.68	20.670	11197.0	34.57			
					9.92		20.66						
			P4-16	3851	10.08	10.030	20.76	20.715	10952.9	33.56			
					9.98		20.67						
			P4-17	3797	10.03	9.995	20.48	20.565	10403.6	32.22			
					9.96		20.65						
			P4-18	3817	10.04	10.000	20.68	20.655	11223.7	34.59			
					9.96		20.63						

Nota: En la Tabla VI.42 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.2. RESISTENCIAS A LA TRACCIÓN DE CONCRETOS CON RELACIÓN (a/c = 0.65)

5.2.2.2.1. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.65) PATRÓN

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la tracción, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.77: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, patrón, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	0.00%	7	P5-10	3807	10.05	10.005	20.72	20.700	7373	22.54	21.81	0.64	2.95%
					9.96		20.68						
			P5-11	3770	10.04	10.000	20.45	20.520	6880	21.33			
					9.96		20.59						
			P5-12	3787	10.06	10.020	20.44	20.530	6963	21.56			
					9.98		20.62						

Nota: En la Tabla VI.41 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.78: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, patrón, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	0.00%	28	P5-13	3803	10.04	10.000	20.65	20.700	8137.5	25.03	24.92	0.79	3.16%
					9.96		20.75						
			P5-14	3753	10.05	9.995	20.47	20.450	7618.3	23.73			
					9.94		20.43						
			P5-15	3782	10.09	10.005	20.41	20.565	8412.1	26.03			
					9.92		20.72						
			P5-16	3800	10.09	10.010	20.71	20.640	7923.5	24.41			
					9.93		20.57						
			P5-17	3812	10.05	10.010	20.76	20.705	8256.1	25.36			
					9.97		20.65						
			P5-18	3770	10.07	9.985	20.65	20.580	8056.9	24.96			
					9.90		20.51						

Nota: En la Tabla VI.42 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.2. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.65) FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la tracción, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.79: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	0.50%	7	P6-10	3786	10.10 9.95	10.025	20.53 20.44	20.485	7311	22.66	22.19	0.60	2.68%
			P6-11	3803	10.07 9.96	10.015	20.62 20.62	20.620	7262	22.39			
			P6-12	3817	10.09 9.98	10.035	20.54 20.69	20.615	6994	21.52			

Nota: En la Tabla VI.41 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.80: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	0.50%	28	P6-13	3777	10.04 9.93	9.985	20.73 20.47	20.600	8174.9	25.01	25.64	0.42	1.65%
			P6-14	3752	10.02 9.95	9.985	20.42 20.51	20.465	8349.9	25.98			
			P6-15	3796	10.06 9.96	10.010	20.68 20.52	20.600	8345.8	25.54			
			P6-16	3796	10.09 9.98	10.035	20.42 20.58	20.500	8409.3	25.98			
			P6-17	3788	10.10 9.91	10.005	20.65 20.51	20.580	8289.2	25.30			
			P6-18	3774	10.03 9.93	9.980	20.50 20.71	20.605	8400.7	26.01			

Nota: En la Tabla VI.42 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.2.3. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.65) FIBRORREFORZADO AL 1.00%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la tracción, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.81: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	1.00%	7	P7-10	3785	10.06	9.990	20.72	20.615	7776	23.75	22.94	0.80	3.50%
					9.92		20.51						
			P7-11	3751	10.03	9.970	20.59	20.510	7184	22.14			
					9.91		20.43						
			P7-12	3771	10.02	9.985	20.58	20.560	7423	22.92			
					9.95		20.54						

Nota: En la Tabla VI.41 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.82: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	1.00%	28	P7-13	3831	10.10	10.020	20.78	20.740	8447	25.88	26.71	0.92	3.44%
					9.94		20.70						
			P7-14	3764	10.03	9.975	20.41	20.560	8266	25.66			
					9.92		20.71						
			P7-15	3803	10.07	10.000	20.74	20.670	8610	26.52			
					9.93		20.60						
P7-16	3818	10.03	9.995	20.77	20.775	9149	28.05						
		9.96		20.78									
P7-17	3757	10.04	9.990	20.41	20.465	8565	26.67						
		9.94		20.52									
P7-18	3809	10.07	10.010	20.65	20.665	8927	27.47						
		9.95		20.68									

Nota: En la Tabla VI.42 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.2.4. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.65) FIBRORREFORZADO AL 2.00%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la tracción, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.83: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	2.00%	7	P8-10	3798	10.05 9.97	10.010	20.64 20.49	20.565	7840	24.06	23.92	0.58	2.44%
			P8-11	3804	10.03 9.98	10.005	20.56 20.68	20.620	7538	23.27			
			P8-12	3780	10.08 9.9	9.990	20.63 20.47	20.550	7974	24.41			

Nota: En la Tabla VI.41 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.84: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	2.00%	28	P8-13	3784	10.08 9.97	10.025	20.45 20.41	20.430	9209	28.62	27.81	1.07	3.83%
			P8-14	3794	10.1 9.94	10.020	20.43 20.58	20.505	8749	27.11			
			P8-15	3817	10.1 9.9	10.000	20.74 20.68	20.710	9360	28.77			
			P8-16	3798	10.09 9.95	10.020	20.58 20.47	20.525	8625	26.70			
			P8-17	3799	10.02 9.96	9.990	20.70 20.61	20.655	9373	28.92			
			P8-18	3785	10.04 9.96	10.000	20.44 20.63	20.535	8627	26.75			

Nota: En la Tabla VI.42 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.3. RESISTENCIAS A LA TRACCIÓN DE CONCRETOS CON RELACIÓN (a/c = 0.70)

5.2.2.3.1. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.70) PATRÓN

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la tracción, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.85: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, patrón, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	0.00%	7	P9-9	3742	10.06	9.980	20.58	20.495	5222	16.25	16.96	0.62	3.66%
					9.90		20.41						
			P9-10	3773	10.05	9.990	20.53	20.625	5638	17.42			
					9.93		20.72						
			P9-11	3765	10.03	9.970	20.71	20.665	5567	17.20			
					9.91		20.62						

Nota: En la Tabla VI.41 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.86: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, patrón, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	0.00%	28	P9-13	3784	10.09	10.010	20.49	20.600	6570	20.28	19.62	0.76	3.85%
					9.93		20.71						
			P9-14	3788	10.06	10.015	20.59	20.605	6328	19.52			
					9.97		20.62						
			P9-15	3748	10.02	9.990	20.53	20.490	5942	18.48			
					9.96		20.45						
			P9-16	3756	10.08	10.000	20.47	20.490	6119	19.01			
					9.92		20.51						
			P9-17	3760	10.05	9.995	20.46	20.535	6547	20.31			
					9.94		20.61						
			P9-18	3804	10.10	10.015	20.74	20.690	6555	20.14			
					9.93		20.64						

Nota: En la Tabla VI.42 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.3.2. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.70) FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la tracción, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.87: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	0.50%	7	P10-10	3773	10.08	10.005	20.67	20.545	5879	18.21	17.92	0.73	4.08%
					9.93		20.42						
			P10-11	3829	10.09	10.020	20.78	20.785	6042	18.47			
					9.95		20.79						
			P10-12	3782	10.08	10.020	20.49	20.530	5523	17.09			
					9.96		20.57						

Nota: En la Tabla VI.41 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.88: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	0.50%	28	P10-13	3799	10.05	10.020	20.51	20.625	6803	20.96	20.50	0.56	2.73%
					9.99		20.74						
			P10-14	3771	10.07	9.995	20.59	20.575	6584	20.38			
					9.92		20.56						
			P10-15	3779	10.09	10.005	20.52	20.575	6413	19.83			
					9.92		20.63						
			P10-16	3797	10.09	10.020	20.47	20.610	6565	20.24			
					9.95		20.75						
			P10-17	3806	10.09	10.025	20.72	20.640	6946	21.37			
					9.96		20.56						
			P10-18	3771	10.02	10.005	20.58	20.535	6533	20.24			
					9.99		20.49						

Nota: En la Tabla VI.42 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.3.3. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.70) FIBRORREFORZADO AL 1.00%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la tracción, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.89: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	1.00%	7	P11-10	3801	10.08	10.035	20.50	20.565	6446	19.88	19.26	0.73	3.78%
					9.99		20.63						
			P11-11	3756	10.03	9.985	20.48	20.525	5943	18.46			
					9.94		20.57						
			P11-12	3737	10.02	9.965	20.41	20.500	6237	19.44			
					9.91		20.59						

Nota: En la Tabla VI.41 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.90: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	1.00%	28	P11-13	3777	10.08	10.015	20.46	20.515	7354	22.79	22.67	0.86	3.77%
					9.95		20.57						
			P11-14	3826	10.1	10.040	20.75	20.680	7423	22.76			
					9.98		20.61						
			P11-15	3778	10.09	10.030	20.46	20.460	7038	21.83			
					9.97		20.46						
			P11-16	3757	10.02	10.000	20.51	20.470	7172	22.30			
					9.98		20.43						
			P11-17	3809	10.08	10.025	20.74	20.650	7885	24.25			
					9.97		20.56						
			P11-18	3755	10.01	9.970	20.54	20.580	7125	22.11			
					9.93		20.62						

Nota: En la Tabla VI.42 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.3.4. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE CONCRETO (a/c = 0.70) FIBRORREFORZADO AL 2.00%

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la tracción, en probetas con 7 días de curado:

Tabla V.91: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 7 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	2.00%	7	P12-10	3769	10.09	10.010	20.46	20.465	6764	21.02	20.30	0.74	3.66%
					9.93		20.47						
			P12-11	3778	10.02	10.005	20.53	20.535	6305	19.54			
					9.99		20.54						
			P12-12	3752	10.02	9.995	20.45	20.435	6526	20.34			
					9.97		20.42						

Nota: En la Tabla VI.41 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

Se muestran los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, en probetas con 28 días de curado:

Tabla V.92: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Masa (g)	Diametro (cm)	Diametro promedio (cm)	Longitud (cm)	Longitud promedio (cm)	Carga Máxima en compresión diametral (kg)	Resistencia a la tracción T _c (kg/cm ²)	Resistencia a la tracción promedio T _{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	2.00%	28	P12-13	3787	10.06	9.985	20.61	20.665	7276	22.34	23.35	0.74	3.16%
					9.91		20.72						
			P12-14	3812	10.09	10.040	20.48	20.575	7609	23.44			
					9.99		20.67						
			P12-15	3783	10.1	10.015	20.54	20.520	7461	22.90			
					9.93		20.50						
			P12-16	3760	10.03	9.975	20.62	20.560	7964	24.51			
					9.92		20.50						
			P12-17	3801	10.03	10.005	20.75	20.660	7588	23.21			
					9.98		20.57						
			P12-18	3796	10.08	10.020	20.58	20.570	7723	23.70			
					9.96		20.56						

Nota: En la Tabla VI.42 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 10.00% (establecido para muestras de 100 mm de diámetro).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3. RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ROTURA (ASTM C293/C293-M10)

Se realizaron ensayos, en las muestras de concreto patrón y fibrorreforzado, a los 28 días de curado. Con los datos registrados se calculó módulo de rotura del concreto aplicando la expresión del CAPITULO IV - 4.2.2.

Posteriormente se calculó:

El módulo de rotura promedio de las muestras.

$$\overline{Mr} = \left(\sum_{i=1}^n Mr_i \right) / n$$

Donde:

\overline{Mr} : Módulo de rotura promedio de la muestra de concreto

Mr_i : Módulo de rotura del concreto en la i – ésima viga

n : tamaño de la muestra

La desviación típica del módulo de rotura de las muestras.

$$\sigma_M = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (Mr_i - \overline{Mr})^2 \right) / (n - 1)}$$

Donde:

σ_M : desviación típica del módulo de rotura del concreto

El coeficiente de variación de la resistencia a la tracción de las muestras.

$$C.V.M (\%) = \left(\frac{\sigma_T}{\overline{TrC}} \right) \times 100\%$$

Donde:

$C.V.M (\%)$: Coeficiente de variación del módulo de rotura del concreto, expresada en %

5.2.3.1. MÓDULOS DE ROTURA DE CONCRETOS CON RELACIÓN (a/c = 0.60)

5.2.3.1.1. MÓDULO DE ROTURA DE CONCRETO (a/c = 0.60) PATRÓN

Se muestran los resultados del ensayo de módulo de rotura, en vigas de concreto con 28 días de curado:

Tabla V.93: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.60, patrón, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Luz libre entre apoyos (cm)	Ancho de viga en la zona de falla (cm)	Ancho promedio de viga (cm)	Peralte de viga en la zona de falla (cm)	Peralte promedio de viga (cm)	Carga Máxima en el centro de la luz (kg)	Modulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Modulo de rotura promedio M _{rp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	0.00%	28	V1-1	46.50	15.19	15.120	15.07	15.185	3280	65.62	64.40	1.73	2.69%
					15.05								
			V1-2	46.50	15.13	15.165	15.10	15.120	3140	63.17			
					15.20						15.14		

Nota: En la Tabla VI.58 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 4.40% suscrito en la norma ASTM C293/C293-M10 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.1.2. MÓDULO DE ROTURA DE CONCRETO (a/c = 0.60) FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los resultados del ensayo de módulo de rotura, en vigas de concreto con 28 días de curado:

Tabla V.94: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.60, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Luz libre entre apoyos (cm)	Ancho de viga en la zona de falla (cm)	Ancho promedio de viga (cm)	Peralte de viga en la zona de falla (cm)	Peralte promedio de viga (cm)	Carga Máxima en el centro de la luz (kg)	Modulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Modulo de rotura promedio M _{rp} (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	0.50%	28	V2-1	46.50	15.02	15.060	15.06	15.095	3180	64.64	65.66	1.44	2.19%
					15.10								
			V2-2	46.50	15.09	15.065	15.27	15.275	3360	66.67			
					15.04						15.28		

Nota: En la Tabla VI.58 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 4.40% suscrito en la norma ASTM C293/C293-M10 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.1.3. MÓDULO DE ROTURA DE CONCRETO ($a/c = 0.60$) FIBRORREFORZADO AL 1.00%

Se muestran los resultados del ensayo de módulo de rotura, en vigas de concreto con 28 días de curado:

Tabla V.95: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto ($a/c = 0.60$, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Luz libre entre apoyos (cm)	Ancho de viga en la zona de falla (cm)	Ancho promedio de viga (cm)	Peralte de viga en la zona de falla (cm)	Peralte promedio de viga (cm)	Carga Máxima en el centro de la luz (kg)	Modulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Modulo de rotura promedio Mrp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	1.00%	28	V3-1	46.50	15.17	15.180	15.22	15.220	3240	64.27	65.77	2.13	3.24%
					15.19		15.22						
			V3-2	46.50	15.15	15.145	15.11	15.075	3320	67.28			
					15.14		15.04						

Nota: En la Tabla VI.58 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 4.40% suscrito en la norma ASTM C293/C293-M10 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.1.4. MÓDULO DE ROTURA DE CONCRETO ($a/c = 0.60$) FIBRORREFORZADO AL 2.00%

Se muestran los resultados del ensayo de módulo de rotura, en vigas de concreto con 28 días de curado:

Tabla V.96: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto ($a/c = 0.60$, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Luz libre entre apoyos (cm)	Ancho de viga en la zona de falla (cm)	Ancho promedio de viga (cm)	Peralte de viga en la zona de falla (cm)	Peralte promedio de viga (cm)	Carga Máxima en el centro de la luz (kg)	Modulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Modulo de rotura promedio Mrp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.60	2.00%	28	V4-1	46.50	15.01	15.095	15.04	15.060	3280	66.82	65.13	2.40	3.68%
					15.18		15.08						
			V4-2	46.50	15.01	15.055	15.19	15.240	3180	63.43			
					15.10		15.29						

Nota: En la Tabla VI.58 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 4.40% suscrito en la norma ASTM C293/C293-M10 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.2. MÓDULOS DE ROTURA DE CONCRETOS CON RELACIÓN (a/c = 0.65)

5.2.3.2.1. MÓDULO DE ROTURA DE CONCRETO (a/c = 0.65) PATRÓN

Se muestran los resultados del ensayo de módulo de rotura, en vigas de concreto con 28 días de curado:

Tabla V.97: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.65, patrón, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Luz libre entre apoyos (cm)	Ancho de viga en la zona de falla (cm)	Ancho promedio de viga (cm)	Peralte de viga en la zona de falla (cm)	Peralte promedio de viga (cm)	Carga Máxima en el centro de la luz (kg)	Modulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Modulo de rotura promedio Mrp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	0.00%	28	V5-1	46.50	15.18	15.115	15.23	15.250	2620	51.99	53.30	1.85	3.48%
					15.05		15.27						
			V5-2	46.50	15.09	15.145	15.17	15.090	2700	54.61			
					15.20		15.01						

Nota: En la Tabla VI.58 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 4.40% suscrito en la norma ASTM C293/C293-M10 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.2.2. MÓDULO DE ROTURA DE CONCRETO (a/c = 0.65) FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los resultados del ensayo de módulo de rotura, en vigas de concreto con 28 días de curado:

Tabla V.98: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.65, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Luz libre entre apoyos (cm)	Ancho de viga en la zona de falla (cm)	Ancho promedio de viga (cm)	Peralte de viga en la zona de falla (cm)	Peralte promedio de viga (cm)	Carga Máxima en el centro de la luz (kg)	Modulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Modulo de rotura promedio Mrp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	0.50%	28	V6-1	46.50	15.11	15.090	15.11	15.195	2740	54.85	54.24	0.86	1.59%
					15.07		15.28						
			V6-2	46.50	15.19	15.145	15.24	15.170	2680	53.63			
					15.10		15.10						

Nota: En la Tabla VI.58 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 4.40% suscrito en la norma ASTM C293/C293-M10 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.2.3. MÓDULO DE ROTURA DE CONCRETO ($a/c = 0.65$) FIBRORREFORZADO AL 1.00%

Se muestran los resultados del ensayo de módulo de rotura, en vigas de concreto con 28 días de curado:

Tabla V.99: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto ($a/c = 0.65$, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado)

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Luz libre entre apoyos (cm)	Ancho de viga en la zona de falla (cm)	Ancho promedio de viga (cm)	Peralte de viga en la zona de falla (cm)	Peralte promedio de viga (cm)	Carga Máxima en el centro de la luz (kg)	Modulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Modulo de rotura promedio Mrp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	1.00%	28	V7-1	46.50	15.09	15.055	15.30	15.230	2780	55.53	54.35	1.66	3.05%
					15.02		15.16						
0.65	1.00%	28	V7-2	46.50	15.11	15.140	15.25	15.180	2660	53.18	54.35	1.66	3.05%
					15.17		15.11						

Nota: En la Tabla VI.58 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 4.40% suscrito en la norma ASTM C293/C293-M10 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.2.4. MÓDULO DE ROTURA DE CONCRETO ($a/c = 0.65$) FIBRORREFORZADO AL 2.00%

Se muestran los resultados del ensayo de módulo de rotura, en vigas de concreto con 28 días de curado:

Tabla V.100: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto ($a/c = 0.65$, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado)

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Luz libre entre apoyos (cm)	Ancho de viga en la zona de falla (cm)	Ancho promedio de viga (cm)	Peralte de viga en la zona de falla (cm)	Peralte promedio de viga (cm)	Carga Máxima en el centro de la luz (kg)	Modulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Modulo de rotura promedio Mrp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.65	2.00%	28	V8-1	46.50	15.16	15.085	15.10	15.155	2580	51.94	53.40	2.07	3.88%
					15.01		15.21						
0.65	2.00%	28	V8-2	46.50	15.14	15.095	15.24	15.135	2720	54.87	53.40	2.07	3.88%
					15.05		15.03						

Nota: En la Tabla VI.58 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 4.40% suscrito en la norma ASTM C293/C293-M10 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.3. MÓDULOS DE ROTURA DE CONCRETOS CON RELACIÓN (a/c = 0.70)

5.2.3.3.1. MÓDULO DE ROTURA DE CONCRETO (a/c = 0.70) PATRÓN

Se muestran los resultados del ensayo de módulo de rotura, en vigas de concreto con 28 días de curado:

Tabla V.101: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.70, patrón, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Luz libre entre apoyos (cm)	Ancho de viga en la zona de falla (cm)	Ancho promedio de viga (cm)	Peralte de viga en la zona de falla (cm)	Peralte promedio de viga (cm)	Carga Máxima en el centro de la luz (kg)	Modulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Modulo de rotura promedio Mrp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	0.00%	28	V9-1	46.50	15.08	15.125	15.26	15.210	2300	45.85	44.62	1.74	3.91%
					15.17		15.16						
			V9-2	46.50	15.06	15.110	15.15	15.090	2140	43.38			
					15.16		15.03						

Nota: En la Tabla VI.58 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 4.40% suscrito en la norma ASTM C293/C293-M10 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.3.2. MÓDULO DE ROTURA DE CONCRETO (a/c = 0.70) FIBRORREFORZADO AL 0.50%

Se muestran los resultados del ensayo de módulo de rotura, en vigas de concreto con 28 días de curado:

Tabla V.102: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto (a/c) = 0.70, fibrorreforzado al 0.50%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Luz libre entre apoyos (cm)	Ancho de viga en la zona de falla (cm)	Ancho promedio de viga (cm)	Peralte de viga en la zona de falla (cm)	Peralte promedio de viga (cm)	Carga Máxima en el centro de la luz (kg)	Modulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Modulo de rotura promedio Mrp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	0.50%	28	V10-1	46.50	15.07	15.120	15.13	15.090	2160	43.76	44.87	1.57	3.49%
					15.17		15.05						
			V10-2	46.50	15.19	15.120	15.10	15.125	2280	45.98			
					15.05		15.15						

Nota: En la Tabla VI.58 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 4.40% suscrito en la norma ASTM C293/C293-M10 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.3. MÓDULO DE ROTURA DE CONCRETO ($a/c = 0.70$) FIBRORREFORZADO AL 1.00%

Se muestran los resultados del ensayo de módulo de rotura, en vigas de concreto con 28 días de curado:

Tabla V.103: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto ($a/c = 0.70$, fibrorreforzado al 1.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Luz libre entre apoyos (cm)	Ancho de viga en la zona de falla (cm)	Ancho promedio de viga (cm)	Peralte de viga en la zona de falla (cm)	Peralte promedio de viga (cm)	Carga Máxima en el centro de la luz (kg)	Modulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Modulo de rotura promedio Mrp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	1.00%	28	V11-1	46.50	15.06	15.080	15.27	15.210	2400	47.98	46.54	2.04	4.39%
					15.10		15.15						
			V11-2	46.50	15.12	15.120	15.10	15.070	2220	45.09			
					15.12		15.04						

Nota: En la Tabla VI.58 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 4.40% suscrito en la norma ASTM C293/C293-M10 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.3.4. MÓDULO DE ROTURA DE CONCRETO ($a/c = 0.70$) FIBRORREFORZADO AL 2.00%

Se muestran los resultados del ensayo de módulo de rotura, en vigas de concreto con 28 días de curado:

Tabla V.104: Resultados del ensayo de módulo de rotura en concreto ($a/c = 0.70$, fibrorreforzado al 2.00%, en probetas con 28 días de curado

Relación (a/c)	Fibra (%)	Edad (días)	Muestra	Luz libre entre apoyos (cm)	Ancho de viga en la zona de falla (cm)	Ancho promedio de viga (cm)	Peralte de viga en la zona de falla (cm)	Peralte promedio de viga (cm)	Carga Máxima en el centro de la luz (kg)	Modulo de rotura Mr (kg/cm ²)	Modulo de rotura promedio Mrp (kg/cm ²)	Desviación estándar σ (kg/cm ²)	Coefficiente de Variación CV (%)
0.70	2.00%	28	V12-1	46.50	15.05	15.120	15.24	15.220	2200	43.81	44.76	1.34	3.00%
					15.19		15.20						
			V12-2	46.50	15.01	15.045	15.27	15.140	2260	45.71			
					15.08		15.01						

Nota: En la Tabla VI.58 se analizó la validez de los resultados mostrados, según el Coeficiente de Variación máximo permisible de 4.40% suscrito en la norma ASTM C293/C293-M10 (acorde a las condiciones del ensayo).

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI : ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO PLÁSTICO

6.1.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE ASENTAMIENTO (NTP 339.035)

Con los asentamientos promedios suscritos en el CAPITULO V – 5.1.1; se elaboró la tabla VI.1, como resumen de los resultados del ensayo de asentamiento en muestras de concreto fresco.

Tabla VI.1: Resumen de resultados del ensayo de asentamiento en muestras de concreto fresco.

a/c	ASENTAMIENTO O SLUMP (cm)			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	30.00	17.03	10.07	3.60
0.65	30.00	18.03	11.17	4.03
0.70	30.00	19.13	12.47	5.83

Fuente: Elaboración propia.

En los ensayos de asentamiento las muestras de concreto patrón súper-plastificado presentaron una consistencia líquida que desbordó la base del Cono de Abrams, registrando el asentamiento máximo posible de 12 pulg. = 30 cm (ver figura VI-5, para referencia de la consistencia líquida del concreto patrón súper-plastificado).

A partir de la tabla VI.1, se construyó la tabla VI.2, como una correspondencia de cada valor de asentamiento respecto al asentamiento de su concreto patrón, expresada en porcentaje.

Tabla VI.2: Asentamiento (%) en función del asentamiento del concreto patrón.

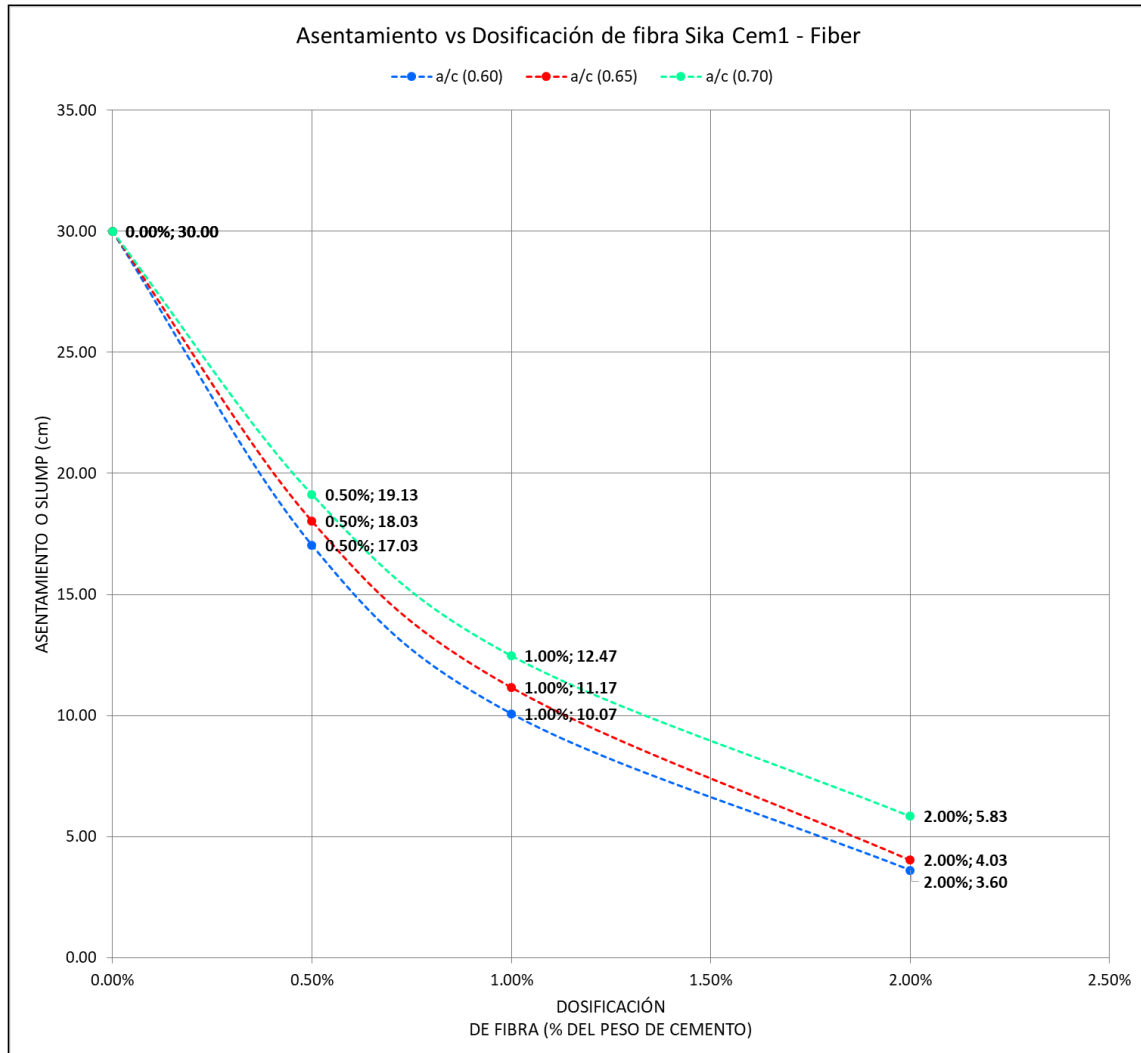
a/c	ASENTAMIENTO (%) EN FUNCIÓN DEL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO PATRÓN			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	100%	57%	34%	12%
0.65	100%	60%	37%	13%
0.70	100%	64%	42%	19%

Nota: Los concretos patrones tienen un asentamiento (%) del 100.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

Para cada relación (a/c), de la tabla VI.1, se graficaron los resultados de asentamiento vs dosificación de fibra sintética (en % del peso del cemento).

Figura VI-1: Asentamiento (cm) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.60, 0.65, 0.70)



Fuente: Elaboración propia.

De la Figura VI-1, se observa que cada incremento en la dosificación de fibra sintética genera una pérdida de asentamiento significativa con respecto al concreto patrón, dicha pérdida queda expresada cuantitativa y porcentualmente en la tabla VI.3.

Tabla VI.3: Pérdida de asentamiento (%) en función del asentamiento del concreto patrón.

a/c	PÉRDIDA DE ASENTAMIENTO (%) EN FUNCIÓN DEL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO PATRÓN			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	0%	43%	66%	88%
0.65	0%	40%	63%	87%
0.70	0%	36%	58%	81%

Nota: Los concretos patrones tienen pérdida de asentamiento (%) del 0.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla VI.3, para muestras de concreto con relación a/c = (0.60, 0.65 y 0.70) se observó:

- ✓ Las muestras de concreto fresco fibrorreforzadas al 0.50% del peso del cemento, presentaron una pérdida de asentamiento de: Entre 36 a 43 % con respecto al asentamiento del concreto patrón súper-plastificado.



Figura VI-2: Asentamiento en concreto fibrorreforzado al 0.50% – (a/c= 0.65).

Nota: Se realizó la verificación de la calibración de la regla (azul) usada para medición, comparándola con vernier calibrado (ver ANEXO 2).

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Las muestras de concreto fresco fibrorreforzadas al 1.00% del peso del cemento, presentaron una pérdida de asentamiento de: Entre 58 a 66 % con respecto al asentamiento del concreto patrón súper-plastificado.



Figura VI-3: Asentamiento en concreto fibrorreforzado al 1.00% – ($a/c= 0.65$).

Nota: Se realizó la verificación de la calibración de la regla (azul) usada para medición, comparándola con vernier calibrado (ver ANEXO 2).

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Las muestras de concreto fresco fibrorreforzadas al 2.00% del peso del cemento, presentaron una pérdida de asentamiento de: Entre 81 a 86 % con respecto al asentamiento del concreto patrón súper-plastificado.



Figura VI-4: Asentamiento en concreto fibrorreforzado al 2.00% – ($a/c= 0.65$).

Nota: Se realizó la verificación de la calibración de la regla (azul) usada para medición, comparándola con vernier calibrado (ver ANEXO 2).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura VI-5, se verificó en forma cualitativa la pérdida de trabajabilidad del concreto fresco a medida que se iba incrementando la dosificación de fibra sintética en la mezcla; yendo desde una consistencia súper-plastificada del concreto patrón, hasta una consistencia poco trabajable del concreto fibrorreforzado al 2.00%.

Figura VI-5: Mezclas de concreto patrón y fibrorreforzado al 0.50%, 1.00% y 2.00% – ($a/c= 0.65$)



Nota 1: La pérdida de trabajabilidad resulta evidente por simple inspección visual de las muestras.

Nota 2: Se observó que la muestra de concreto patrón en estado fresco, presenta una consistencia fluida que se corresponde con el Slump de 30 cm registrado en los resultados del ensayo de asentamiento.

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO (NTP 339.046)

Con los pesos unitarios promedios suscritos en el CAPITULO V – 5.1.2; se elaboró la tabla VI.4, como resumen de los resultados del ensayo de peso unitario en muestras de concreto fresco.

Tabla VI.4: Resumen de resultados del ensayo de peso unitario en muestras de concreto fresco.

a/c	PESO UNITARIO (kg/m^3)			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	2345.60	2347.72	2349.84	2353.02
0.65	2339.24	2341.36	2342.42	2346.66
0.70	2333.95	2336.07	2337.12	2340.30

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla VI.4, se construyó la tabla VI.5 como una correspondencia de cada valor de peso unitario respecto al peso unitario de su concreto patrón, expresada en porcentaje.

Tabla VI.5: Peso unitario (%) en función del peso unitario del concreto patrón.

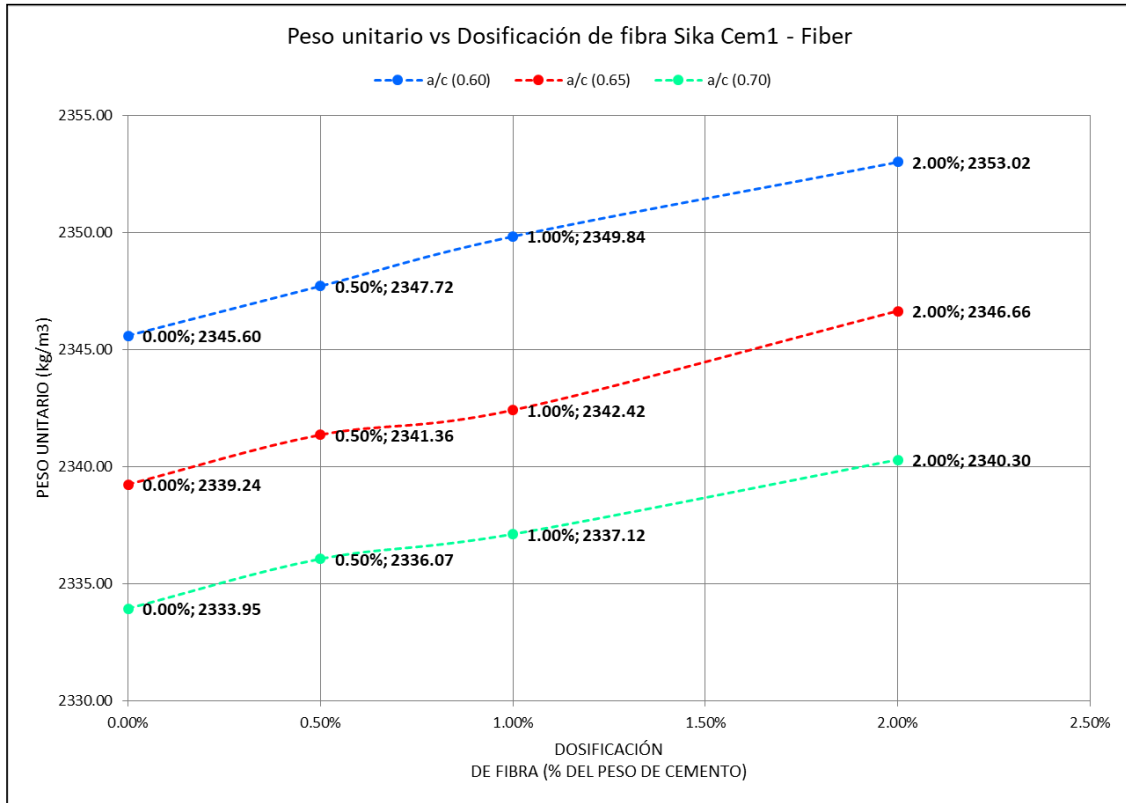
a/c	PESO UNITARIO (%) EN FUNCIÓN DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO PATRÓN			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	100.00%	100.09%	100.18%	100.32%
0.65	100.00%	100.09%	100.14%	100.32%
0.70	100.00%	100.09%	100.14%	100.27%

Nota: Los concretos patrones tienen un peso unitario (%) del 100.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

Para cada relación (a/c), de la tabla VI.4, se graficaron los resultados de Peso unitario vs dosificación de fibra sintética (en % del peso del cemento).

Figura VI-6: Peso unitario (Kg/m³) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.60, 0.65, 0.70)



Fuente: Elaboración propia.

De la figura VI-6, se observa que cada incremento en la dosificación de fibra sintética genera un ligero incremento de peso unitario con respecto al concreto patrón, dicho incremento queda expresado cuantitativa y porcentualmente en la tabla VI.6.

Tabla VI.6: Incremento de peso unitario (%) en función del peso unitario del concreto patrón.

a/c	INCREMENTO DE PESO UNITARIO (%) EN FUNCIÓN DEL PESO UNITARIO DEL CONCRETO PATRÓN			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	0.00%	0.09%	0.18%	0.32%
0.65	0.00%	0.09%	0.14%	0.32%
0.70	0.00%	0.09%	0.14%	0.27%

Nota: Los concretos patrones tienen un incremento de peso unitario (%) del 0.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla VI.6, para muestras de concreto con relación a/c = (0.60, 0.65 y 0.70) se observó:

- ✓ Las muestras de concreto fresco fibrorreforzadas al 0.50% del peso del cemento, presentaron un incremento del peso unitario de: 0.09% con respecto al peso unitario del concreto patrón.
- ✓ Las muestras de concreto fresco fibrorreforzadas al 1.00% del peso del cemento, presentaron un incremento del peso unitario de: Entre 0.14 a 0.18% con respecto al peso unitario del concreto patrón.
- ✓ Las muestras de concreto fresco fibrorreforzadas al 2.00% del peso del cemento, presentaron un incremento de peso unitario de: Entre 0.27 a 0.32% con respecto al peso unitario del concreto patrón.

6.1.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGUA (NTP 339.082)

Con los tiempos de fragua (inicial y final) suscritos en el CAPITULO V – 5.1.3; se elaboró la tabla VI.7, como resumen de los resultados del ensayo de tiempo de fragua en muestras de concreto fresco (cabe resaltar que el ensayo de tiempo de fragua solo se aplicó a las muestras de concreto de relación $a/c = 0.65$, como un indicador comparativo de la influencia del refuerzo de fibra sintética sobre el tiempo de fragua del concreto).

Tabla VI.7: Resumen de resultados del ensayo de tiempo de fragua en muestras de concreto fresco ($a/c = 0.65$)

a/c	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (% DEL PESO DE CEMENTO)	TIEMPO DE FRAGUA (min)	
		INICIAL	FINAL
0.65	0.00% - PATRÓN	368	547
	0.50%	319	488
	1.00%	288	441
	2.00%	227	337

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla VI.7, se construyó la tabla VI.8, como una correspondencia de cada valor de tiempo de fragua respecto al tiempo de fragua del concreto patrón, expresada en porcentaje.

Tabla VI.8: Tiempo de fragua (%) en función del tiempo de fragua (inicial y final) del concreto patrón ($a/c = 0.65$)

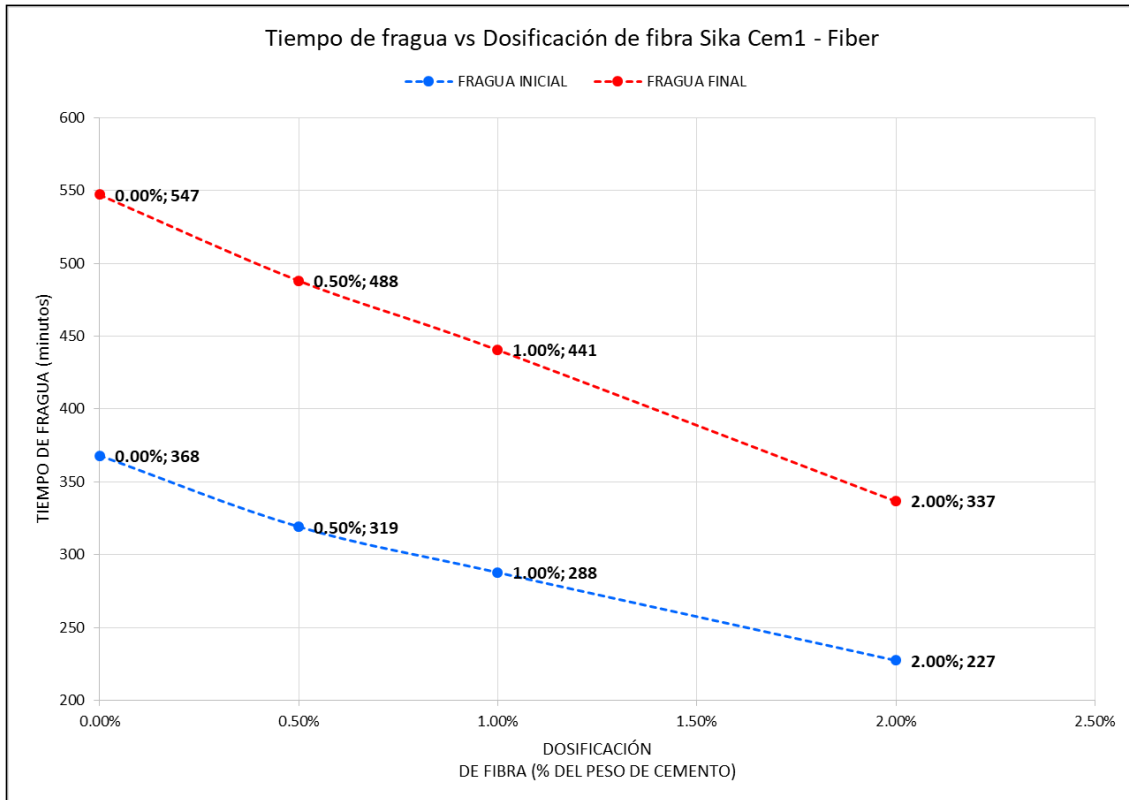
a/c	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (% DEL PESO DE CEMENTO)	TIEMPO DE FRAGUA (%) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUA DEL CONCRETO PATRÓN	
		INICIAL	FINAL
0.65	0.00% - PATRÓN	100.00%	100.00%
	0.50%	86.75%	89.23%
	1.00%	78.21%	80.53%
	2.00%	61.81%	61.56%

Nota: El concreto patrón tienen un tiempo de fragua (%) del 100.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

Para los tiempos de fragua inicial y final, de la tabla VI.7, se graficaron los resultados de Tiempo de fragua vs dosificación de fibra sintética (en % del peso del cemento).

Figura VI-7: Tiempo de fragua (min) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.65)



Fuente: Elaboración propia.

De la figura VI-7, se observa que cada incremento en la dosificación de fibra sintética genera una reducción significativa del tiempo de fragua con respecto al concreto patrón, dicha reducción queda expresada cuantitativa y porcentualmente en la tabla VI.9.

Tabla VI.9: Reducción del tiempo de fragua (%) en función del peso unitario del concreto patrón.

a/c	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (% DEL PESO DE CEMENTO)	REDUCCIÓN TIEMPO DE FRAGUA (%) EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUA DEL CONCRETO PATRÓN	
		INICIAL	FINAL
0.65	0.00% - PATRÓN	0.00%	0.00%
	0.50%	13.25%	10.77%
	1.00%	21.79%	19.47%
	2.00%	38.19%	38.44%

Nota: El concreto patrón tienen una reducción del tiempo de fragua (%) del 0.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla VI.9, para muestras de concreto con relación $a/c = 0.65$ se observó:

- ✓ Las muestras de concreto fresco fibrorreforzadas al 0.50% del peso del cemento, presentaron una reducción del tiempo de fragua inicial de: 13.25 % con respecto al tiempo de fragua inicial del concreto patrón. Y una reducción del tiempo de fragua final de: 10.77 % con respecto al tiempo de fragua final del concreto patrón.

- ✓ Las muestras de concreto fresco fibrorreforzadas al 1.00% del peso del cemento, presentaron una reducción del tiempo de fragua inicial de: 21.79 % con respecto al tiempo de fragua inicial del concreto patrón. Y una reducción del tiempo de fragua final de: 19.47 % con respecto al tiempo de fragua final del concreto patrón.

- ✓ Las muestras de concreto fresco fibrorreforzadas al 2.00% del peso del cemento, presentaron una reducción del tiempo de fragua inicial de: 38.19 % con respecto al tiempo de fragua inicial del concreto patrón. Y una reducción del tiempo de fragua final de: 38.44 % con respecto al tiempo de fragua final del concreto patrón.

6.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

6.2.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (NTP 339.034)

Como paso previo a realizar el análisis detallado de los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto, se verificó la validez de los mismos, comparando el coeficiente de variación de la resistencia a la compresión de cada muestra con el coeficiente de variación máximo permisible, suscrito en la NTP 339.034. La tabla VI.10, muestra los coeficientes de variación máximos permisibles, según el tipo de muestras en estudio.

Tabla VI.10: Coeficientes de variación máximos permisibles, en el ensayo de resistencia a la compresión.

TIPO DE MUESTRA	CONDICIÓN	Coeficiente de variación máximo permisible (CV%)	
		2 MUESTRAS	3 MUESTRAS
CILÍNDRO DE 150X300 mm	Condiciones de laboratorio	6.60%	7.80%
	Condiciones de obra	8.00%	9.50%
CILÍNDRO DE 100X200 mm	Condiciones de laboratorio	9.00%	10.60%

Fuente: INDECOPI, "HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. (NTP 339.034 - 2013)". Lima 2013.

De la tabla VI.10, se elige 10.60% como el coeficiente de variación máximo permisible (dadas las condiciones de laboratorio y el número de probetas ensayadas de 100x200 mm). A continuación se muestran las verificaciones de las muestras de concreto con 7 y 28 días de curado.

Tabla VI.11: Verificación de la validez de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras de concreto con 7 días de curado.

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la compresión promedio de la muestra f'_{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar de la muestra σ (kg/cm ²)	Coefficiente de variación (CV%)	Coefficiente de variación máximo permisible (CV% _{máx})	CONDICIÓN DE LA MUESTRA
7	0.60	0.00% - PATRÓN	P1	244.48	6.34	2.60%	10.60%	ACEPTADA
		0.50%	P2	269.84	9.38	3.48%	10.60%	ACEPTADA
		1.00%	P3	287.39	3.84	1.34%	10.60%	ACEPTADA
		2.00%	P4	292.39	5.36	1.83%	10.60%	ACEPTADA
	0.65	0.00% - PATRÓN	P5	206.60	5.24	2.54%	10.60%	ACEPTADA
		0.50%	P6	241.54	3.04	1.26%	10.60%	ACEPTADA
		1.00%	P7	263.67	9.20	3.49%	10.60%	ACEPTADA
		2.00%	P8	259.66	6.08	2.34%	10.60%	ACEPTADA
	0.70	0.00% - PATRÓN	P9	158.00	4.92	3.11%	10.60%	ACEPTADA
		0.50%	P10	180.71	5.02	2.78%	10.60%	ACEPTADA
		1.00%	P11	194.14	4.99	2.57%	10.60%	ACEPTADA
		1.00%	P12	192.03	5.29	2.76%	10.60%	ACEPTADA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla VI.12: Verificación de la validez de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras de concreto con 28 días de curado.

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la compresión promedio de la muestra f'_{cp} (kg/cm ²)	Desviación estándar de la muestra σ (kg/cm ²)	Coefficiente de variación (CV%)	Coefficiente de variación máximo permisible (CV% _{máx})	CONDICIÓN DE LA MUESTRA
28	0.60	0.00% - PATRÓN	P1	281.63	6.40	2.27%	10.60%	ACEPTADA
		0.50%	P2	300.00	12.77	4.26%	10.60%	ACEPTADA
		1.00%	P3	325.94	14.09	4.32%	10.60%	ACEPTADA
		2.00%	P4	322.95	13.75	4.26%	10.60%	ACEPTADA
	0.65	0.00% - PATRÓN	P5	231.36	7.56	3.27%	10.60%	ACEPTADA
		0.50%	P6	252.33	4.42	1.75%	10.60%	ACEPTADA
		1.00%	P7	284.34	10.16	3.57%	10.60%	ACEPTADA
		2.00%	P8	283.06	10.15	3.58%	10.60%	ACEPTADA
	0.70	0.00% - PATRÓN	P9	172.64	5.87	3.40%	10.60%	ACEPTADA
		0.50%	P10	191.25	3.87	2.02%	10.60%	ACEPTADA
		1.00%	P11	209.77	5.63	2.68%	10.60%	ACEPTADA
		1.00%	P12	208.39	5.92	2.84%	10.60%	ACEPTADA

Fuente: Elaboración propia.

Se observó que la totalidad de las muestras ensayadas a compresión presentaron coeficientes de variación inferiores al máximo permisible de 10.60%, por lo cual se aceptó la validez de los resultados obtenidos para su posterior análisis.

6.2.1.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO

6.2.1.1.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO EN MUESTRAS CON 7 DÍAS DE CURADO

Con las resistencias a la compresión promedio suscritas en el CAPITULO V - 5.2.1; se elaboró la tabla VI.13, como resumen de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión en muestras de concreto con 7 días de curado.

Tabla VI.13: Resumen de resultados del ensayo de resistencia a la compresión promedio (en muestras de concreto con 7 días de curado).

a/c	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO - 7 DÍAS (Kg/cm ²)			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	244.48	269.84	287.39	292.39
0.65	206.60	241.54	263.67	259.66
0.70	158.00	180.71	194.14	192.03

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla VI.13, se construyó la tabla VI.14, como una correspondencia de cada valor de resistencia a la compresión respecto a la resistencia a la compresión de su concreto patrón (según su relación a/c), expresado en porcentaje.

Tabla VI.14: Resistencia a la compresión promedio (%) en función de la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 7 días de curado).

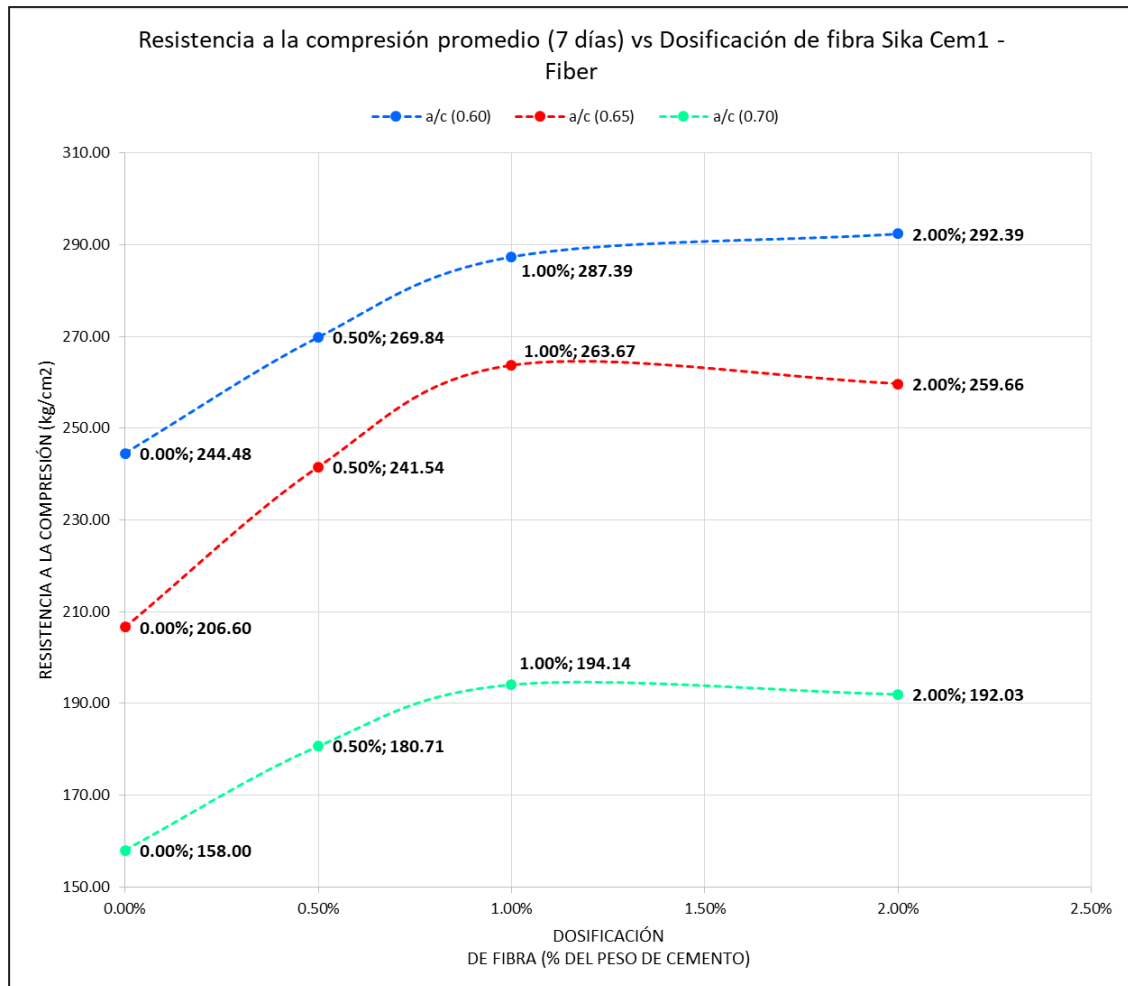
a/c	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO (%) EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO DEL CONCRETO PATRÓN - 7 DÍAS			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	100.00%	110.37%	117.55%	119.59%
0.65	100.00%	116.91%	127.62%	125.68%
0.70	100.00%	114.38%	122.87%	121.54%

Nota: Los concretos patrones tienen una resistencia a la compresión promedio (%) del 100.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

Para cada relación (a/c), de la tabla VI.13, se graficaron los resultados de Resistencia a la compresión promedio vs dosificación de fibra sintética (en % del peso del cemento).

Figura VI-8: Resistencia a la compresión promedio (7 días) (Kg/cm^2) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.60, 0.65, 0.70)



Fuente: Elaboración propia.

De la figura VI-8, se observa que:

- ✓ Cada incremento en la dosificación de fibra sintética genera un incremento significativo de la resistencia a la compresión con respecto a la resistencia a la compresión del concreto patrón (a los 7 días de curado), dicho incremento queda expresada cuantitativa y porcentualmente en la tabla VI.15.
- ✓ **La dosificación óptima de fibra sintética** (para obtener las mejores propiedades resistentes del concreto fibrorreforzado curado a los 7 días) es: **1.00% del peso de cemento**, dado que con

esta dosificación se registran los mayores incrementos de resistencia a la compresión promedio con respecto a la resistencia a la compresión del concreto patrón.

En las muestras con relación ($a/c = 0.60$), las fibrorreforzadas al 2.00% presentaron un mayor incremento de resistencia a la compresión (ver tabla VI.15), sin embargo la dosificación óptima de fibra sintética se consideró del 1.00%, dado que pese a usar el doble de refuerzo de fibra en las primeras, la diferencia en el incremento de resistencia a la compresión no es significativa ($19.59\% - 17.55\% = 2.04\%$).

Tabla VI.15: Incremento de la resistencia a la compresión promedio (%) en función de la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 7 días de curado).

a/c	INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO (%) EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO DEL CONCRETO PATRÓN - 7 DÍAS			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	0.00%	10.37%	17.55%	19.59%
0.65	0.00%	16.91%	27.62%	25.68%
0.70	0.00%	14.38%	22.87%	21.54%

Nota: Los concretos patrones tienen un incremento de la resistencia a la compresión promedio (%) del 0.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla VI.15, para muestras de concreto con relación $a/c = (0.60, 0.65, 0.70)$ y 7 días de curado, se observó:

- ✓ Las muestras de concreto fibrorreforzadas al 0.50% del peso del cemento, presentaron un incremento en la resistencia a la compresión promedio de: Entre 10.37 a 16.91 % con respecto a la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón.

- ✓ Las muestras de concreto fibrorreforzadas al **1.00% del peso del cemento (dosificación óptima de fibra sintética)**, presentaron un incremento en la resistencia a la compresión promedio de: Entre 17.55 a 27.62 % con respecto a la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón.

- ✓ Las muestras de concreto fibrorreforzadas al 2.00% del peso del cemento, presentaron un incremento en la resistencia a la compresión promedio de: Entre 19.59 a 25.68 % con respecto a la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón.

6.2.1.1.2. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO EN MUESTRAS CON 28 DÍAS DE CURADO

Con las resistencias a la compresión promedio suscritas en el CAPÍTULO V - 5.2.1; se elaboró la tabla 158, como resumen de los resultados del ensayo de resistencia a la compresión en muestras de concreto con 28 días de curado.

Tabla VI.16: Resumen de resultados del ensayo de resistencia a la compresión promedio (en muestras de concreto con 28 días de curado).

a/c	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO - 28 DÍAS (Kg/cm ²)			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	281.63	300.00	325.94	322.95
0.65	231.36	252.33	284.34	283.06
0.70	172.64	191.25	209.77	208.39

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla VI.16, se construyó la tabla VI.17, como una correspondencia de cada valor de resistencia a la compresión respecto a la resistencia a la compresión de su concreto patrón (según su relación a/c), expresado en porcentaje.

Tabla VI.17: Resistencia a la compresión promedio (%) en función de la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 28 días de curado).

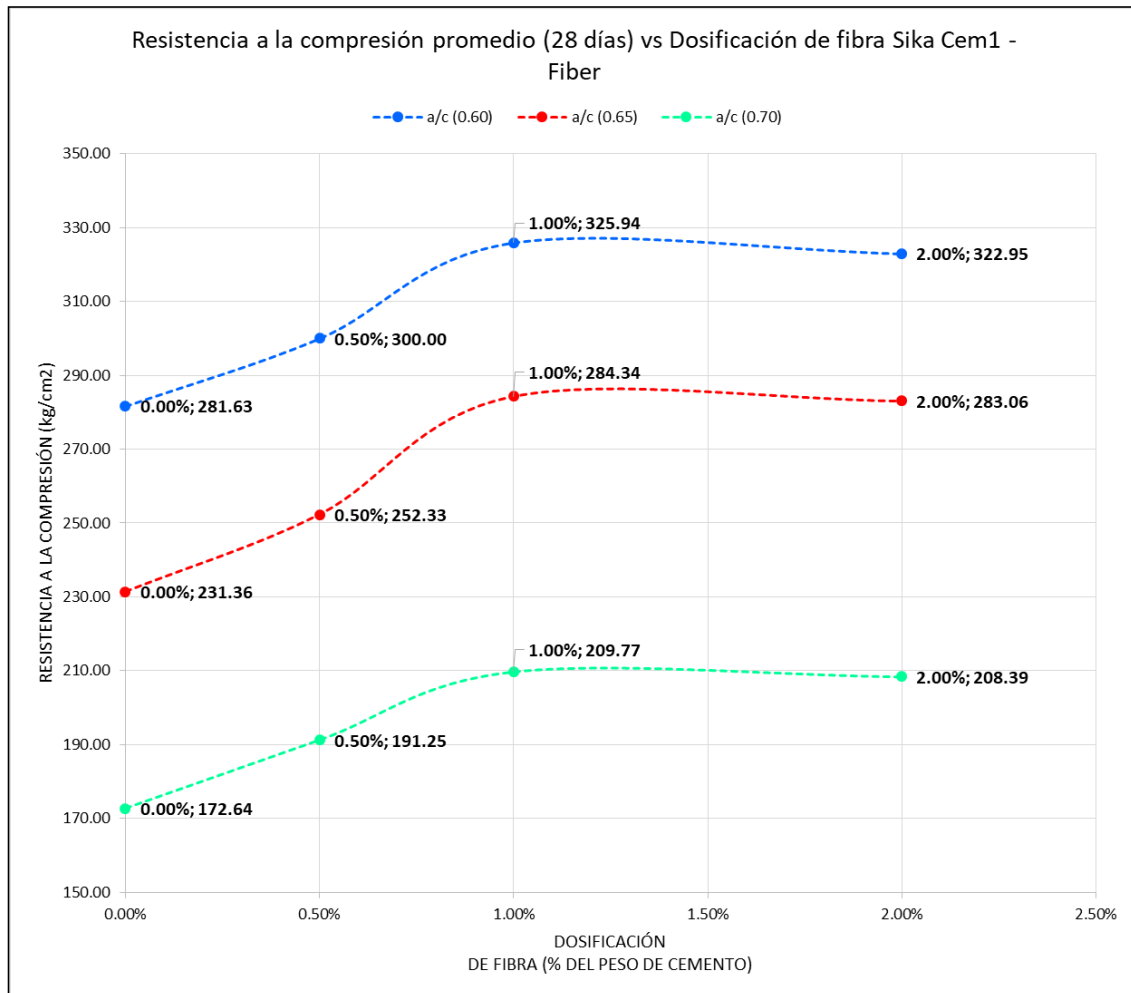
a/c	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO (%) EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO DEL CONCRETO PATRÓN - 28 DÍAS			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	100.00%	106.52%	115.73%	114.67%
0.65	100.00%	109.06%	122.90%	122.34%
0.70	100.00%	110.78%	121.51%	120.71%

Nota: Los concretos patrones tienen una resistencia a la compresión promedio (%) del 100.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

Para cada relación (a/c), de la tabla VI.16, se graficaron los resultados de Resistencia a la compresión promedio vs dosificación de fibra sintética (en % del peso del cemento).

Figura VI-9: Resistencia a la compresión promedio (28 días) (Kg/cm²) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.60, 0.65, 0.70)



Fuente: Elaboración propia.

De la figura VI-9, se observa que:

- ✓ Cada incremento en la dosificación de fibra sintética genera un incremento significativo de la resistencia a la compresión con respecto a la resistencia a la compresión del concreto patrón (a los 28 días de curado), dicho incremento queda expresada cuantitativa y porcentualmente en la tabla VI.18.

- ✓ **La dosificación óptima de fibra sintética** (para obtener las mejores propiedades resistentes del concreto fibrorreforzado) es: **1.00% del peso de cemento**, dado que con esta dosificación se registran los mayores incrementos en la resistencia a la compresión promedio (ver tabla VI.18).

Tabla VI.18: Incremento de la resistencia a la compresión promedio (%) en función de la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 28 días de curado).

a/c	INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO (%) EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO DEL CONCRETO PATRÓN - 28 DÍAS			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	0.00%	6.52%	15.73%	14.67%
0.65	0.00%	9.06%	22.90%	22.34%
0.70	0.00%	10.78%	21.51%	20.71%

Nota: Los concretos patrones tienen un incremento de la resistencia a la compresión promedio (%) del 0.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla VI.18, para muestras de concreto con relación a/c = (0.60, 0.65, 0.70) y 28 días de curado, se observó:

- ✓ Las muestras de concreto fibrorreforzadas al 0.50% del peso del cemento, presentaron un incremento en la resistencia a la compresión promedio de: Entre 6.52 a 10.78 % con respecto a la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón.
- ✓ Las muestras de concreto fibrorreforzadas al **1.00% del peso del cemento (dosificación óptima de fibra sintética)**, presentaron un incremento en la resistencia a la compresión promedio de: Entre 15.73 a 22.90 % con respecto a la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón.
- ✓ Las muestras de concreto fibrorreforzadas al 2.00% del peso del cemento, presentaron un incremento en la resistencia a la compresión promedio de: Entre 14.67 a 22.34 % con respecto a la resistencia a la compresión promedio del concreto patrón.

- ✓ Las muestras de concreto fibrorreforzado con valores de relación a/c superiores (por ende de menor resistencia), registraron mayores incrementos porcentuales (%) en su resistencia a la compresión promedio. En conclusión el impacto del refuerzo de fibra sintética sobre la resistencia a la compresión es más significativo en concretos de menor F'c.

6.2.1.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE FIBRA SINTÉTICA, EN ESAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

En 6.2.1.1 se observó que el contenido óptimo de fibra sintética en el concreto fibrorreforzado, era del 1.00% del peso de cemento, dado que para dicha dosificación de fibra las muestras ensayadas presentaban los mayores incrementos porcentuales de resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón. Se realizó una prueba estadística de la hipótesis, llamada prueba de diferencia pareada entre las muestras fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00% (dado que comparten la misma relación a/c), con el fin de verificar si el incremento de fibra de 1.00% a 2.00% da evidencia de un incremento/decremento en la resistencia a la compresión o en caso contrario no existe evidencia de cambio en la resistencia a la compresión. Dado que las 2 muestras a estudiar se aproximan a la normal, por el teorema central del límite, la diferencia de estas presenta una distribución aproximada a la normal; además por tratarse de muestras pequeñas con menos de 30 elementos ($n < 30$), media muestral (de las diferencias de las resistencias a la compresión) \bar{D} y desviación típica muestral (de las diferencias de las resistencias a la compresión) S_D , para poblaciones aproximadas a la normal, la variable aleatoria:

$$T = \frac{\bar{D}\sqrt{n}}{S_D}$$

Presenta una distribución T- de Student con (n-1) grados de libertad. Por lo cual se debe probar una media μ_D poblacional hipotética de la diferencia. Se siguió el siguiente procedimiento.

✓ Se plantearon las hipótesis:

$H_0: \mu_D = 0$. No existe diferencia entre las resistencias a la compresión de las muestras relacionadas.

$H_1: \mu_D < 0, \mu_D \neq 0, \mu_D > 0$

✓ Se escogió el nivel de significancia α

✓ El estadístico de prueba es $T = \frac{\bar{D}\sqrt{n}}{S_D}$, una distribución T-de Student, con (n-1) grados de libertad.

✓ Se calculó la región de rechazo o región crítica.

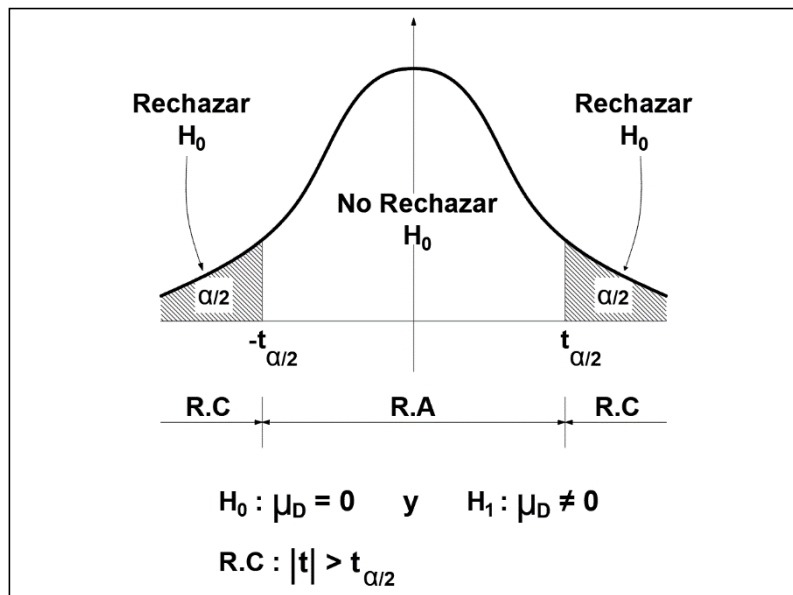


Figura VI-10: Región de rechazo de la distribución de probabilidad T – de Student

Fuente: Rufino Moya C., Gregorio Sarabia A. "Probabilidad e Inferencia Estadística". Editorial San Marcos. Perú 1988.

Se tiene:

$$P\left(T < -t_{\frac{\alpha}{2}} \vee T > t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = \alpha$$

$$2 \times P\left(T > t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = \alpha$$

$$P\left(T > t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = \frac{\alpha}{2}$$

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

De la expresión anterior y la tabla VI.25, se calcula $t_{\frac{\alpha}{2}}$, y la región de rechazo o región crítica será R.C: $T < -t_{\frac{\alpha}{2}} \vee T > t_{\frac{\alpha}{2}}$

- ✓ Se calcularon la media muestral \bar{D} y desviación típica muestral S_D (de las diferencias de resistencias a la compresión de las muestras en comparación) y el estadístico de prueba $T = \frac{\bar{D}\sqrt{n}}{S_D}$.
- ✓ Se verifica:

$T \in R.C$, entonces H_0 se rechaza

$T \notin R.C$, entonces H_0 se acepta y se verifica que no existe diferencia entre las resistencias la compresión de las muestras relacionadas (fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%).

Se realizó la prueba de hipótesis en las muestras con 28 días de curado, dado que son muestras con un mayor número de elementos que las con 7 días de curado y además su resistencia a la compresión final está definida.

6.2.1.2.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE FIBRA EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c= 0.60) Y 28 DÍAS DE CURADO.

Se presentan los datos de resistencia a la compresión obtenidos de ensayar muestras con relación a/c=0.60, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%.

Tabla VI.19: Datos de resistencia a la compresión (muestras con relación a/c=0.60, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%)

N° Muestra	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)	
	a/c = 0.60 Fibra al 1.00%	a/c = 0.60 Fibra al 2.00%
1	327.59	343.97
2	316.29	303.66
3	331.04	314.25
4	346.12	322.97
5	304.76	322.43
6	329.84	330.42

Fuente: Elaboración propia.

I. Se plantearon las hipótesis:

$H_0: \mu_D = 0$. No existe diferencia entre las resistencias a la compresión de las muestras relacionadas (con relación a/c=0.60, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%).

$H_1: \mu_D < 0, \mu_D \neq 0, \mu_D > 0$

II. El nivel de significancia es de $\alpha = 0.05$

III. El estadístico de prueba es $T = \frac{\bar{D}\sqrt{n}}{S_D}$, una distribución T-de Student, con 5 grados de libertad.

IV. Cálculo de la región de rechazo o región crítica.

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \frac{0.05}{2}$$

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 0.975$$

De la expresión anterior y la tabla VI.25 con 5 grados de libertad se calcula $t_{\frac{\alpha}{2}}$.

$$t_{\frac{\alpha}{2}} = 2.571$$

La región crítica será:

$$T < -2.571 \vee T > 2.571$$

$$T \in < -\infty, -2.571 > \cup < 2.571, +\infty >$$

$$R.C. = < -\infty, -2.571 > \cup < 2.571, +\infty >$$

V. Cálculo de \bar{D} , S_D y $T = \frac{\bar{D}\sqrt{n}}{S_D}$.

De la tabla VI.19, se construyó la tabla VI.20.

Tabla VI.20: Datos para el cálculo de \bar{D} , S_D y $T = \frac{\bar{D}\sqrt{n}}{S_D}$ (muestras con relación a/c=0.60, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%)

N° Muestra	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)		DIFERENCIA (Kg/cm ²)	
	a/c = 0.60 Fibra al 1.00%	a/c = 0.60 Fibra al 2.00%	Di	(Di) ²
1	327.59	343.97	-16.38	268.45
2	316.29	303.66	12.63	159.47
3	331.04	314.25	16.79	282.02
4	346.12	322.97	23.15	535.69
5	304.76	322.43	-17.67	312.26
6	329.84	330.42	-0.57	0.33
		SUMATORIA TOTAL	17.94	1558.24

Fuente: Elaboración propia.

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^{i=6} D_i}{6} = \frac{17.94}{6} = 2.99$$

$$S_D = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^{i=6} (D_i)^2 - (\sum_{i=1}^{i=6} D_i)^2}{n(n-1)}}$$

$$S_D = \sqrt{\frac{6 \times 1558.24 - (17.94)^2}{6 \times 5}} = 17.35$$

$$T = \frac{2.99 \times \sqrt{6}}{17.35} = 0.422$$

VI. Se verifica:

$$T = 0.422 \notin R. C. = \langle -\infty, -2.571 \rangle \cup \langle 2.571, +\infty \rangle ,$$

entonces H_0 se acepta y se verifica que no existe diferencia entre las resistencias a la compresión de las muestras con relación $a/c=0.60$, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%.

Este hecho evidencia que tanto las muestras fibrorreforzadas al 1.00% y las fibrorreforzadas al 2.00% presentan la misma resistencia a la compresión. Resultando la dosificación de **1.00% el contenido óptimo de fibra** (para las muestras con relación $a/c = 0.60$), dado que se consiguen los máximos incrementos de resistencia a la compresión del concreto con la menor dosificación de fibra sintética.

6.2.1.2.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE FIBRA EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c= 0.65) Y 28 DÍAS DE CURADO.

Se presentan los datos de resistencia a la compresión obtenidos de ensayar muestras con relación a/c=0.65, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%.

Tabla VI.21: Datos de resistencia a la compresión (muestras con relación a/c=0.65, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%)

N° Muestra	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)	
	a/c = 0.65 Fibra al 1.00%	a/c = 0.65 Fibra al 2.00%
1	286.37	294.89
2	281.53	284.49
3	267.77	278.29
4	286.14	294.92
5	284.83	273.86
6	299.39	271.90

Fuente: Elaboración propia.

I. Se plantearon las hipótesis:

$H_0: \mu_D = 0$. No existe diferencia entre las resistencias de la compresión de las muestras relacionadas (con relación a/c=0.65, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%).

$H_1: \mu_D < 0, \mu_D \neq 0, \mu_D > 0$

II. El nivel de significancia es de $\alpha = 0.05$

III. El estadístico de prueba es $T = \frac{\bar{D}\sqrt{n}}{S_D}$, una distribución T-de Student, con 5 grados de libertad.

IV. Cálculo de la región de rechazo o región crítica.

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \frac{0.05}{2}$$

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 0.975$$

De la expresión anterior y la tabla VI.25 con 5 grados de libertad se calcula $t_{\frac{\alpha}{2}}$.

$$t_{\frac{\alpha}{2}} = 2.571$$

La región crítica será:

$$T < -2.571 \vee T > 2.571$$

$$T \in < -\infty, -2.571 > \cup < 2.571, +\infty >$$

$$R.C. = < -\infty, -2.571 > \cup < 2.571, +\infty >$$

V. Cálculo de \bar{D} , S_D y $T = \frac{\bar{D}\sqrt{n}}{S_D}$.

De la tabla VI.21, se construyó la tabla VI.22.

Tabla VI.22: Datos para el cálculo de \bar{D} , S_D y $T = \frac{\bar{D}\sqrt{n}}{S_D}$ (muestras con relación a/c=0.65, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%)

N° Muestra	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)		DIFERENCIA (Kg/cm ²)	
	a/c = 0.65 Fibra al 1.00%	a/c = 0.65 Fibra al 2.00%	Di	(Di) ²
1	286.37	294.89	-8.53	72.71
2	281.53	284.49	-2.97	8.79
3	267.77	278.29	-10.51	110.52
4	286.14	294.92	-8.78	77.02
5	284.83	273.86	10.97	120.36
6	299.39	271.90	27.49	755.50
		SUMATORIA TOTAL	7.68	1144.90

Fuente: Elaboración propia.

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^{i=6} D_i}{6} = \frac{7.68}{6} = 1.28$$

$$S_D = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^{i=6} (D_i)^2 - (\sum_{i=1}^{i=6} D_i)^2}{n(n-1)}}$$

$$S_D = \sqrt{\frac{6 \times 1144.90 - (7.68)^2}{6 \times 5}} = 15.07$$

$$T = \frac{1.28 \times \sqrt{6}}{15.07} = 0.208$$

VI. Se verifica:

$$T = 0.208 \notin R. C. = \langle -\infty, -2.571 \rangle \cup \langle 2.571, +\infty \rangle ,$$

entonces H_0 se acepta y se verifica que no existe diferencia entre las resistencias a la compresión de las muestras con relación $a/c=0.65$, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%.

Este hecho evidencia que tanto las muestras fibrorreforzadas al 1.00% y las fibrorreforzadas al 2.00% presentan la misma resistencia a la compresión. Resultando la dosificación de **1.00% el contenido óptimo de fibra** (para las muestras con relación $a/c = 0.65$), dado que se consiguen los máximos incrementos de resistencia a la compresión del concreto con la menor dosificación de fibra sintética.

6.2.1.2.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE FIBRA EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c= 0.70) Y 28 DÍAS DE CURADO.

Se presentan los datos de resistencia a la compresión obtenidos de ensayar muestras con relación a/c=0.65, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%.

Tabla VI.23: Datos de resistencia a la compresión (muestras con relación a/c=0.70, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%)

N° Muestra	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)	
	a/c = 0.70 Fibra al 1.00%	a/c = 0.70 Fibra al 2.00%
1	205.89	215.57
2	208.03	209.76
3	217.61	204.75
4	206.84	203.84
5	216.04	214.84
6	204.20	201.57

Fuente: Elaboración propia.

I. Se plantearon las hipótesis:

$H_0: \mu_D = 0$. No existe diferencia entre las resistencias a la compresión de las muestras relacionadas (con relación a/c=0.70, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%).

$H_1: \mu_D < 0, \mu_D \neq 0, \mu_D > 0$

II. El nivel de significancia es de $\alpha = 0.05$

III. El estadístico de prueba es $T = \frac{\bar{D}\sqrt{n}}{S_D}$, una distribución T-de Student, con 5 grados de libertad.

IV. Cálculo de la región de rechazo o región crítica.

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \frac{0.05}{2}$$

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 0.975$$

De la expresión anterior y la tabla VI.25 con 5 grados de libertad se calcula $t_{\frac{\alpha}{2}}$.

$$t_{\frac{\alpha}{2}} = 2.571$$

La región crítica será:

$$T < -2.571 \vee T > 2.571$$

$$T \in < -\infty, -2.571 > \cup < 2.571, +\infty >$$

$$R.C. = < -\infty, -2.571 > \cup < 2.571, +\infty >$$

V. Cálculo de \bar{D} , S_D y $T = \frac{\bar{D}\sqrt{n}}{S_D}$.

De la tabla VI.23, se construyó la tabla VI.24.

Tabla VI.24: Datos para el cálculo de \bar{D} , S_D y $T = \frac{\bar{D}\sqrt{n}}{S_D}$ (muestras con relación a/c=0.70, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%)

N° Muestra	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)		DIFERENCIA (Kg/cm ²)	
	a/c = 0.70 Fibra al 1.00%	a/c = 0.70 Fibra al 2.00%	Di	(Di) ²
1	205.89	215.57	-9.68	93.71
2	208.03	209.76	-1.73	2.99
3	217.61	204.75	12.86	165.35
4	206.84	203.84	3.00	9.00
5	216.04	214.84	1.20	1.44
6	204.20	201.57	2.62	6.88
SUMATORIA TOTAL			8.28	279.38

Fuente: Elaboración propia.

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^{i=6} D_i}{6} = \frac{8.28}{6} = 1.38$$

$$S_D = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^{i=6} (D_i)^2 - (\sum_{i=1}^{i=6} D_i)^2}{n(n-1)}}$$

$$S_D = \sqrt{\frac{6 \times 279.38 - (8.28)^2}{6 \times 5}} = 7.32$$

$$T = \frac{1.38 \times \sqrt{6}}{7.32} = 0.462$$

VI. Se verifica:

$$T = 0.462 \notin R. C. = \langle -\infty, -2.571 \rangle \cup \langle 2.571, +\infty \rangle ,$$

entonces H_0 se acepta y se verifica que no existe diferencia entre las resistencias la compresión de las muestras con relación $a/c=0.70$, fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%.

Este hecho evidencia que tanto las muestras fibrorreforzadas al 1.00% y las fibrorreforzadas al 2.00% presentan la misma resistencia a la compresión. Resultando la dosificación de **1.00% el contenido óptimo de fibra** (para las muestras con relación $a/c = 0.70$), dado que se consiguen los máximos incrementos de resistencia a la compresión del concreto con la menor dosificación de fibra sintética.

6.2.1.3. INTERVALOS DE CONFIANZA DE LA MEDIA POBLACIONAL DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO

Con los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión suscritos en CAPITULO V - 5.2.1, se calculó el intervalo de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión (de cada muestra en estudio), teniendo en cuenta que la varianza poblacional es desconocida y las muestras son pequeñas con menos de 30 elementos ($n < 30$). Para tales fines se recurrió a la distribución T - de Student (por tratarse de muestras pequeñas, con distribución aproximada a la normal).

Siendo "F'c" la variable aleatoria de resistencia a la compresión con distribución aproximadamente normal, con media poblacional " μ_c " y varianza poblacional " σ_c^2 " (desconocida). Dado que " σ_c^2 " es desconocido se usó el estimador desviación típica de la muestra " S_c^2 ". Se usó la siguiente metodología para el cálculo del intervalo de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión.

- ✓ Se eligió el nivel de confianza $\gamma = 1 - \alpha$
- ✓ Se determinó t_0 (valor de estadístico T), de la siguiente ecuación:

$$P(T \leq t_0) = \frac{1}{2} (1 + \gamma)$$

Con la tabla VI.25 de la distribución T – de Student, con " $n - 1$ " grados de libertad (siendo n el número de elementos de la muestra) y el nivel de confianza " γ ".

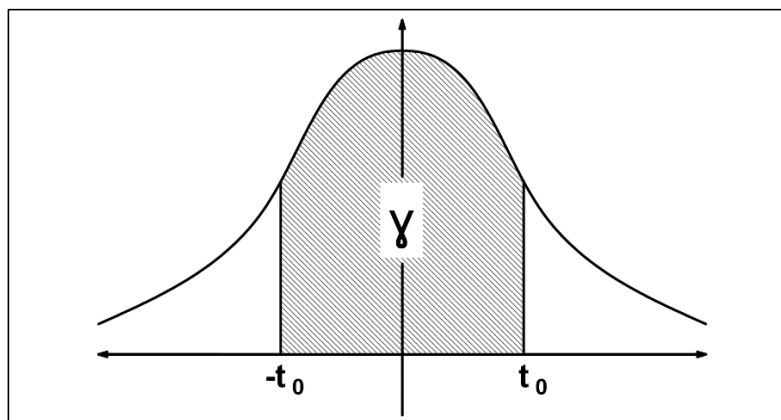


Figura VI-11: Distribución de probabilidad de la función T – de Student

Fuente: Rufino Moya C., Gregorio Sarabia A. "Probabilidad e Inferencia Estadística". Editorial San Marcos. Perú 1988.

Tabla VI.25: Tabla de distribución de probabilidad de la función T – de Student.

DISTRIBUCIÓN t					
$P(T \leq t) = \int_{-\infty}^t \frac{[\Gamma(\frac{r+1}{2})]}{\sqrt{\pi r} [\Gamma(\frac{r}{2})] (1 + \frac{w^2}{r})^{\frac{(r+1)}{2}}} dw$					
$[P(T \leq -t) = 1 - P(T \leq t)]$					
r	P(T ≤ t)				
	0.900	0.950	0.975	0.990	0.995
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.820	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750

Fuente: Rufino Moya C., Gregorio Sarabia A. "Probabilidad e Inferencia Estadística". Editorial San Marcos. Perú 1988.

- ✓ Se calcularon la media muestral $\overline{f'c}$ y la desviación típica muestral s_c de las resistencias a la compresión.
- ✓ Se calculó el error "E":

$$E = \frac{t_0 s_c}{\sqrt{n}}$$

- ✓ Luego, se calculó el límite inferior y límite superior del intervalo de confianza al 100γ% de la media poblacional de la resistencia a la compresión como:

$$L_I = \overline{f'c} - E = \overline{f'c} - \frac{t_0 s_c}{\sqrt{n}}$$

$$L_S = \overline{f'c} + E = \overline{f'c} + \frac{t_0 s_c}{\sqrt{n}}$$

- ✓ Se escribió el intervalo de confianza al 100γ% de la media poblacional de la resistencia a la compresión como:

$$L_I \leq \mu \leq L_S$$

$$\overline{f'c} - E \leq \mu \leq \overline{f'c} + E$$

$$\overline{f'c} - \frac{t_0 s_c}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \overline{f'c} + \frac{t_0 s_c}{\sqrt{n}}$$

$$\mu \in \left[\overline{f'c} - \frac{t_0 s_c}{\sqrt{n}}, \overline{f'c} + \frac{t_0 s_c}{\sqrt{n}} \right]$$

Con la metodología expuesta se calcularon los intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión, de cada una de las muestras estudiadas.

6.2.1.3.1. INTERVALOS AL 95% DE CONFIANZA DE LA MEDIA POBLACIONAL DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MUESTRAS CON RELACIÓN ($a/c = 0.60$)

Se calcularon los intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto. En muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación $a/c = 0.60$ a los 7 y 28 días de curado.

Tabla VI.26: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.60 a los 7 días de curado)

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la compresión promedio de la muestra f'_{cp} (Kg/cm ²)	Desviación típica de la muestra S_c (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (CV%)	Número de elementos de la muestra (n)	Nivel de confianza (100γ%)	Número de grados de libertad (n-1)	Estadístico T-de Student (t0)	Error(E) (Kg/cm ²)	Límite inferior de intervalo de confianza de confianza (Kg/cm ²)	Límite superior de intervalo de confianza de confianza (Kg/cm ²)	Intervalo al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto
7	0.60	0.00% - PATRÓN	P1	244.48	6.34	2.60%	3.00	95.00%	2.00	4.303	15.76	228.72	260.25	228.72 ≤ μ1 ≤ 260.25
		0.50%	P2	269.84	9.38	3.48%	3.00	95.00%	2.00	4.303	23.30	246.54	293.13	246.54 ≤ μ2 ≤ 293.13
		1.00%	P3	287.39	3.84	1.34%	3.00	95.00%	2.00	4.303	9.53	277.86	296.93	277.86 ≤ μ3 ≤ 296.93
		2.00%	P4	292.39	5.36	1.83%	3.00	95.00%	2.00	4.303	13.31	279.08	305.70	279.08 ≤ μ4 ≤ 305.70

Fuente: Elaboración propia

Tabla VI.27: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.60 a los 28 días de curado)

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la compresión promedio de la muestra f'_{cp} (Kg/cm ²)	Desviación típica de la muestra S_c (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (CV%)	Número de elementos de la muestra (n)	Nivel de confianza (100%)	Número de grados de libertad (n-1)	Estadístico T-de Student (t0)	Error(E) (Kg/cm ²)	Limite inferior de intervalo de confianza de confianza (Kg/cm ²)	Limite superior de intervalo de confianza de confianza (Kg/cm ²)	Intervalo al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto
28	0.60	0.00%	P1	281.63	6.40	2.27%	6.00	95.00%	5.00	2.571	6.72	274.91	288.35	274.91 ≤ μ_1 ≤ 288.35
		0.50%	P2	300.00	12.77	4.26%	6.00	95.00%	5.00	2.571	13.40	286.60	313.40	286.60 ≤ μ_2 ≤ 313.40
		1.00%	P3	325.94	14.09	4.32%	6.00	95.00%	5.00	2.571	14.79	311.15	340.73	311.15 ≤ μ_3 ≤ 340.73
		2.00%	P4	322.95	13.75	4.26%	6.00	95.00%	5.00	2.571	14.44	308.51	337.38	308.51 ≤ μ_4 ≤ 337.38

Fuente: Elaboración propia

A partir de las tablas VI.26 y VI.27 se construyeron las figuras VI-12 y VI-13 de los intervalos de confianza al 95% de la media poblacional de la resistencia a la compresión (del concreto patrón y fibrorreforzado con relación $a/c = 0.60$) a los 7 y 28 días de curado respectivamente.

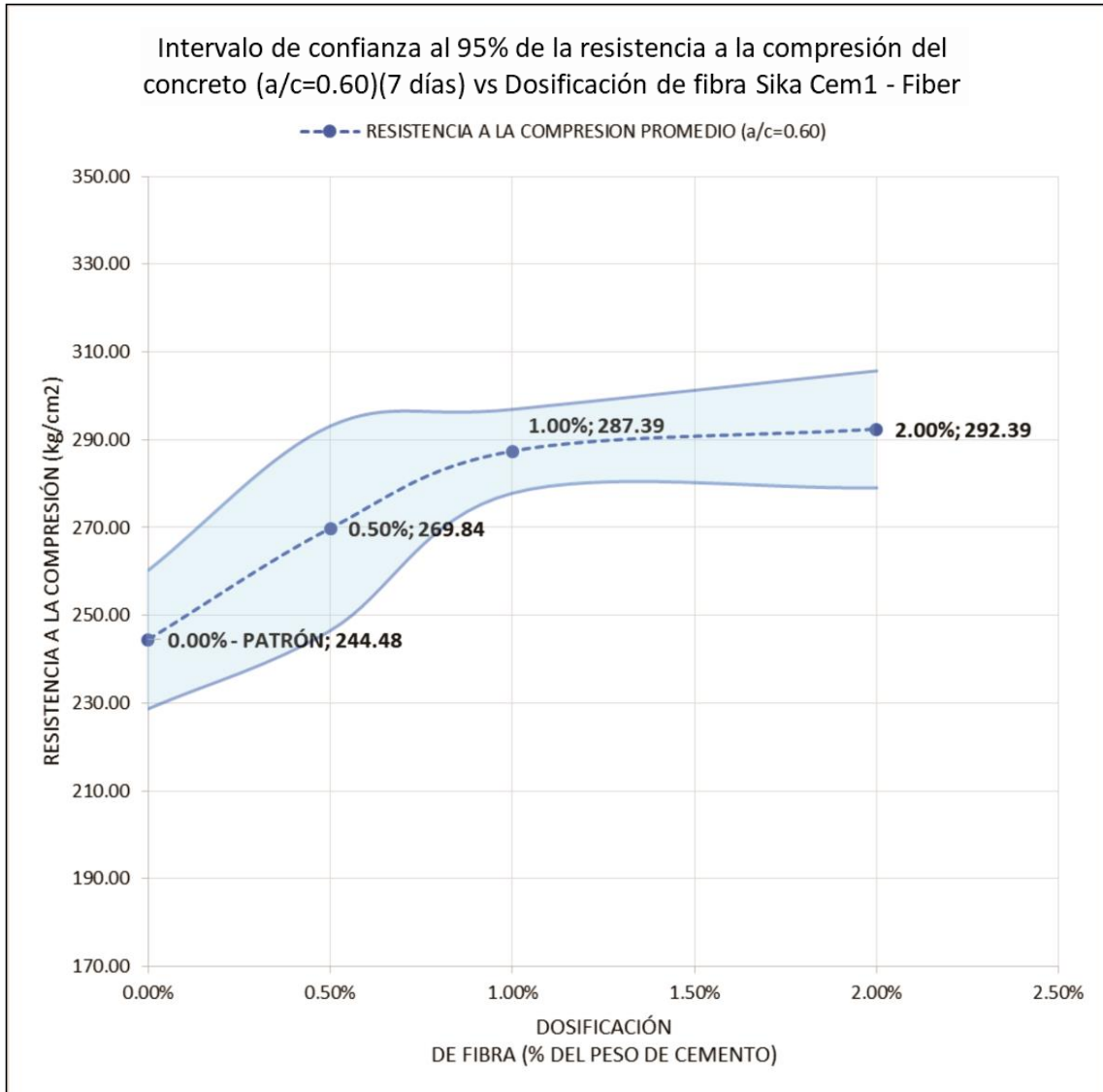


Figura VI-12: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación $a/c = 0.60$ y 7 días de curado)

Fuente: Elaboración propia

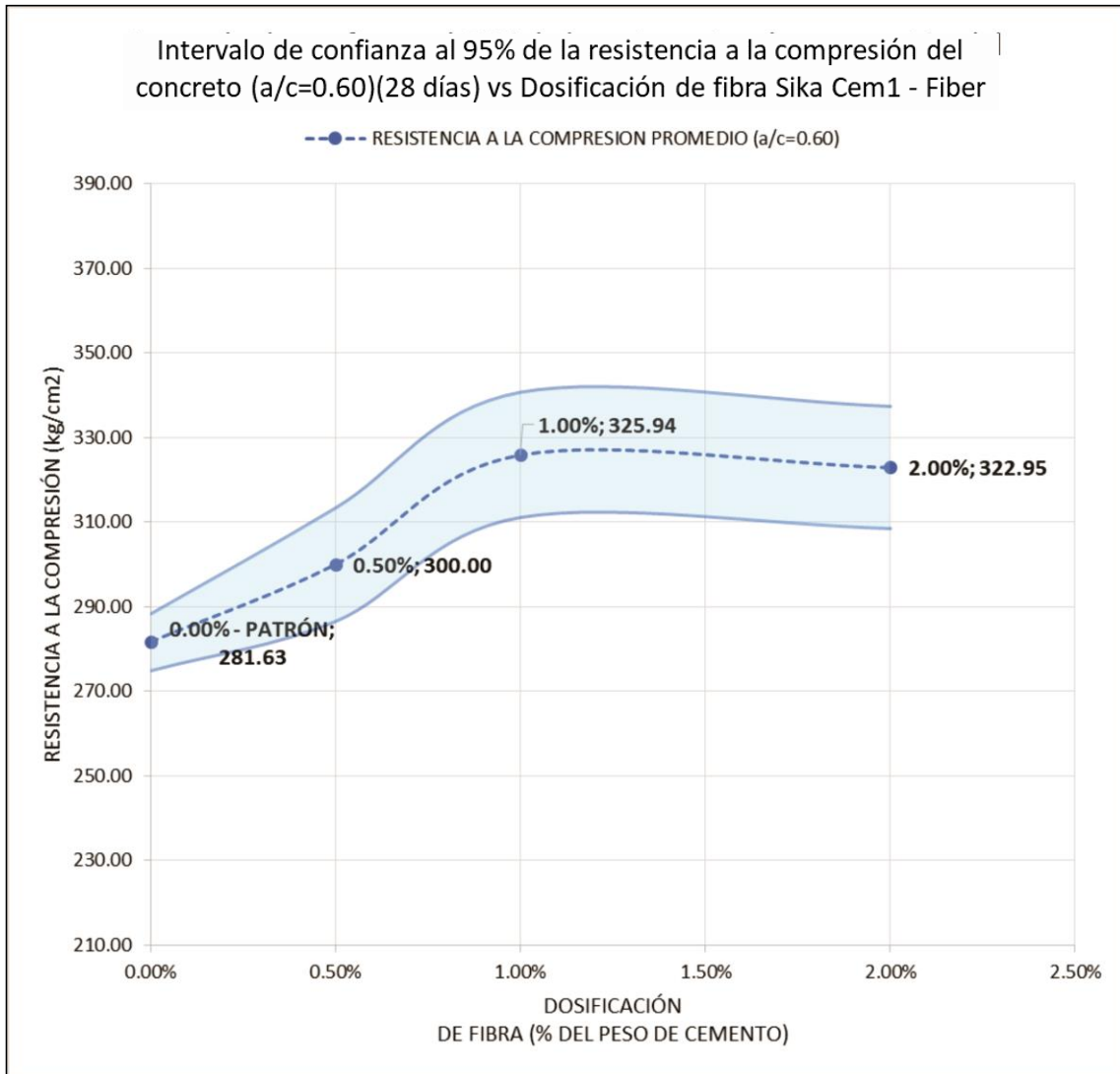


Figura VI-13: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.60 y 28 días de curado)

Fuente: Elaboración propia

De las tablas VI.26 y VI.27, se observó que el error promedio de los intervalos de confianza de las muestras con 28 días de curado es menor que el error promedio de los intervalos de confianza de las muestras con 7 días de curado:

$$\overline{E}_7 = \frac{15.76 + 23.30 + 9.53 + 13.31}{4} = 15.475$$

$$\overline{E}_{28} = \frac{6.72 + 13.40 + 14.79 + 14.44}{4} = 12.338$$

$$\overline{E}_{28} = 12.338 < \overline{E}_7 = 15.475$$

Un menor error promedio se traduce en una **mejor precisión de la región al 95% de confianza**, de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto, **en muestras con 28 días de curado**. Dicha precisión queda comprobada en las regiones sombreadas de las figuras VI-12 y VI-13, resultando por simple inspección visual que el área de la región de confianza en muestras con 28 días de curado es ligeramente menor que el área de la región de confianza en muestras con 7 días de curado.

6.2.1.3.2. INTERVALOS AL 95% DE CONFIANZA DE LA MEDIA POBLACIONAL DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MUESTRAS CON RELACIÓN ($a/c = 0.65$)

Se calcularon los intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto. En muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación $a/c = 0.65$ a los 7 y 28 días de curado.

Tabla VI.28: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.65 a los 7 días de curado)

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la compresión promedio de la muestra f'_{cp} (Kg/cm^2)	Desviación típica de la muestra S_c (Kg/cm^2)	Coefficiente de variación (CV%)	Número de elementos de la muestra (n)	Nivel de confianza (100y%)	Número de grados de libertad (n-1)	Estadístico T-de Student (t0)	Error(E) (Kg/cm^2)	Limite inferior de intervalo de confianza de confianza (Kg/cm^2)	Limite superior de intervalo de confianza de confianza (Kg/cm^2)	Intervalo al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto
7	0.65	0.00% - PATRÓN	P5	206.60	5.24	2.54%	3.00	95.00%	2.00	4.303	13.01	193.59	219.62	$193.59 \leq \mu_5 \leq 219.62$
		0.50%	P6	241.54	3.04	1.26%	3.00	95.00%	2.00	4.303	7.55	234.00	249.09	$234.00 \leq \mu_6 \leq 249.09$
		1.00%	P7	263.67	9.20	3.49%	3.00	95.00%	2.00	4.303	22.85	240.82	286.52	$240.82 \leq \mu_7 \leq 286.52$
		2.00%	P8	259.66	6.08	2.34%	3.00	95.00%	2.00	4.303	15.09	244.57	274.76	$244.57 \leq \mu_8 \leq 274.76$

Fuente: Elaboración propia

Tabla VI.29: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.65 a los 28 días de curado)

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la compresión promedio de la muestra f'_{cp} (Kg/cm ²)	Desviación típica de la muestra S_c (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (CV%)	Número de elementos de la muestra (n)	Nivel de confianza (100y%)	Número de grados de libertad (n-1)	Estadístico T-de Student (t0)	Error(E) (Kg/cm ²)	Limite inferior de intervalo de confianza de confianza (Kg/cm ²)	Limite superior de intervalo de confianza de confianza (Kg/cm ²)	Intervalo al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto
28	0.65	0.00%	P5	231.36	7.56	3.27%	6.00	95.00%	5.00	2.571	7.94	223.42	239.30	223.42 ≤ μ 5 ≤ 239.30
		0.50%	P6	252.33	4.42	1.75%	6.00	95.00%	5.00	2.571	4.64	247.69	256.97	247.69 ≤ μ 6 ≤ 256.97
		1.00%	P7	284.34	10.16	3.57%	6.00	95.00%	5.00	2.571	10.67	273.67	295.00	273.67 ≤ μ 7 ≤ 295.00
		2.00%	P8	283.06	10.15	3.58%	6.00	95.00%	5.00	2.571	10.65	272.41	293.71	272.41 ≤ μ 8 ≤ 293.71

Fuente: Elaboración propia

A partir de las tablas VI.28 y VI.29 se construyeron las figuras VI-14 y VI-15 de los intervalos de confianza al 95% de la media poblacional de la resistencia a la compresión (del concreto patrón y fibrorreforzado con relación $a/c = 0.65$) a los 7 y 28 días de curado respectivamente.

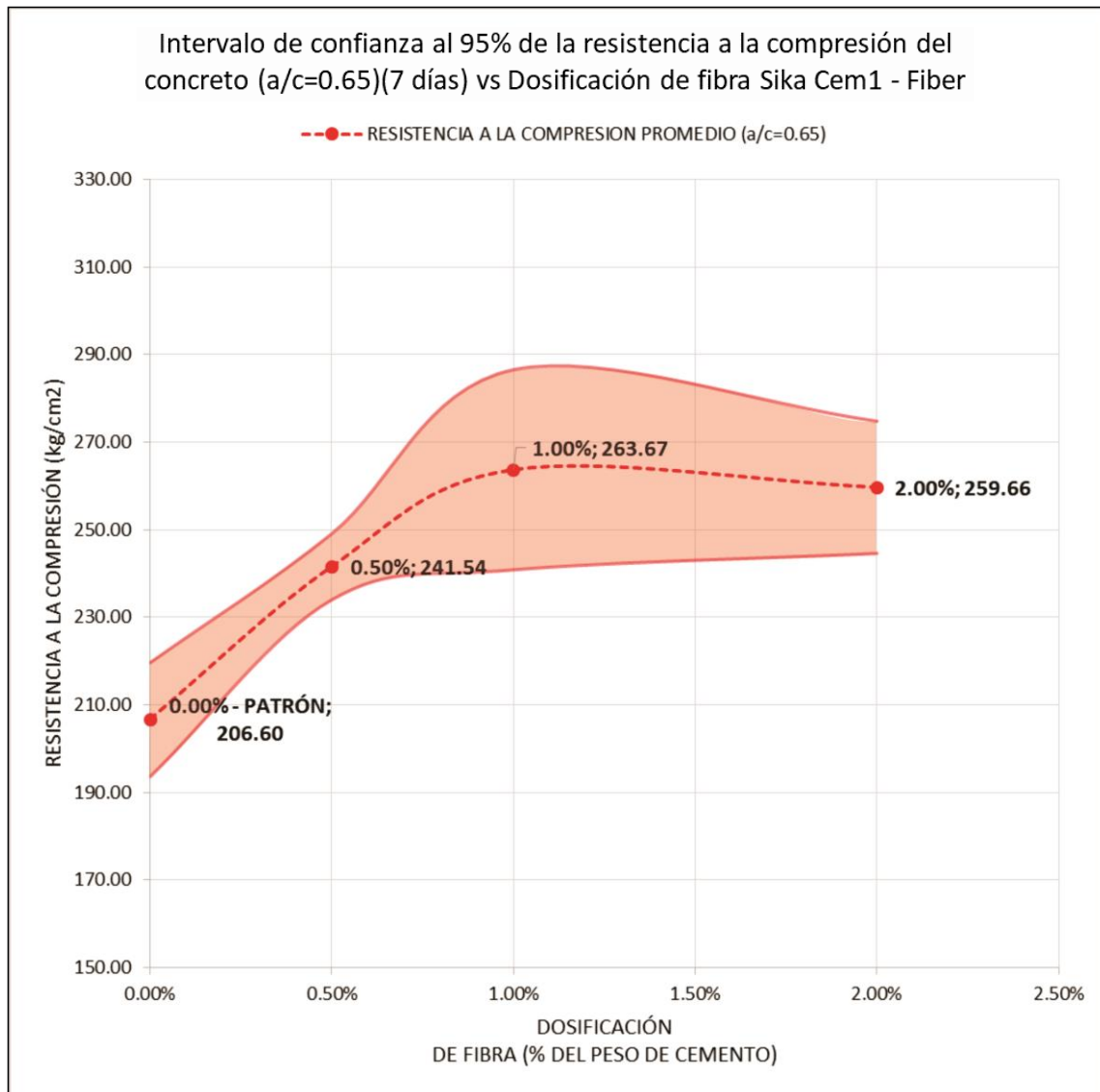


Figura VI-14: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación $a/c = 0.65$ y 7 días de curado)

Fuente: Elaboración propia

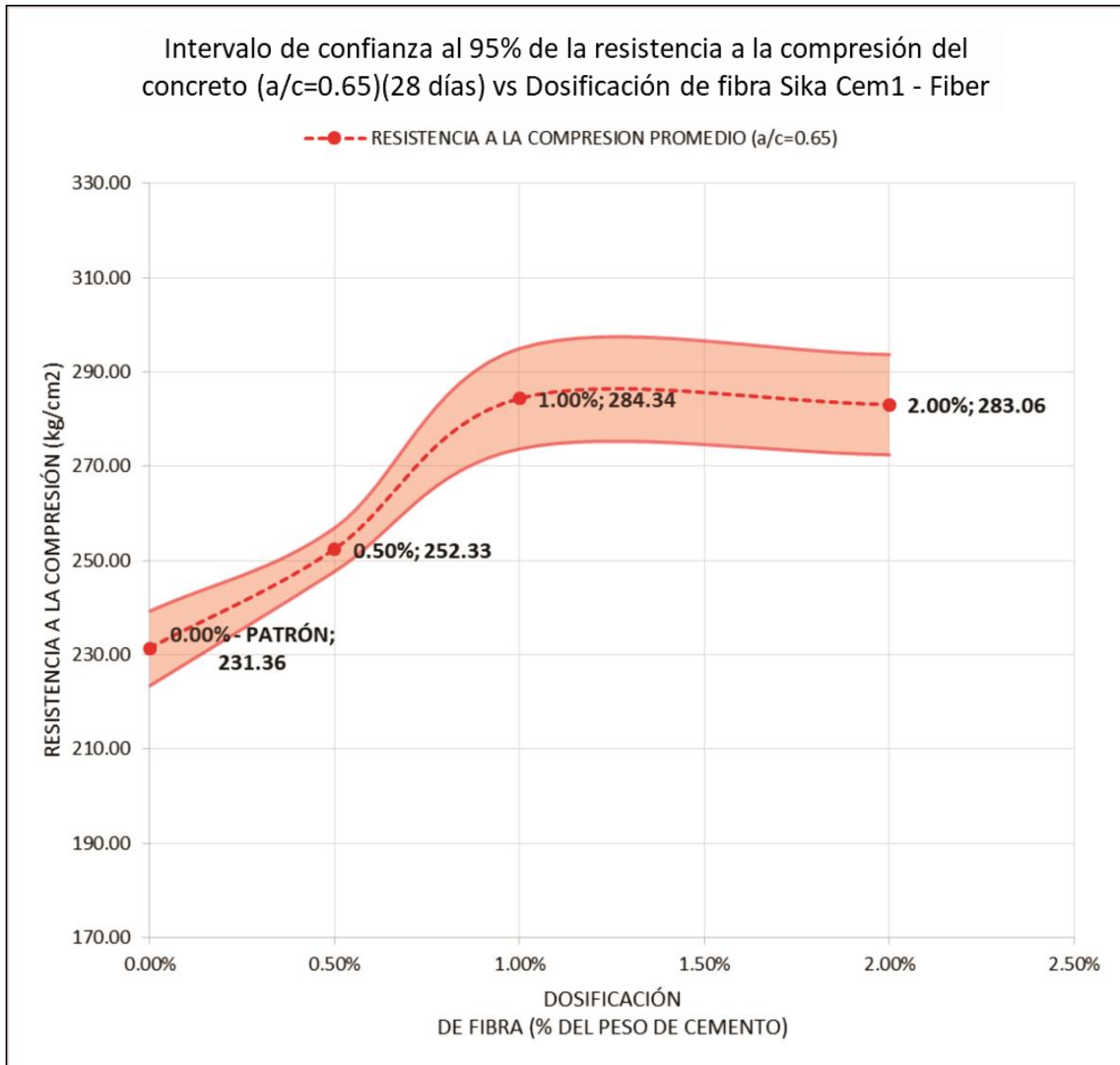


Figura VI-15: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.65 y 28 días de curado)

Fuente: Elaboración propia

De las tablas VI.28 y VI.29, se observó que el error promedio de los intervalos de confianza de las muestras con 28 días de curado es menor que el error promedio de los intervalos de confianza de las muestras con 7 días de curado:

$$\bar{E}_7 = \frac{13.01 + 7.55 + 22.85 + 15.09}{4} = 14.625$$

$$\bar{E}_{28} = \frac{7.94 + 4.64 + 10.67 + 10.65}{4} = 8.475$$

$$\bar{E}_{28} = 8.475 < \bar{E}_7 = 14.625$$

Un menor error promedio se traduce en una **mejor precisión de la región al 95% de confianza**, de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto, **en muestras con 28 días de curado**. Dicha precisión queda comprobada en las regiones sombreadas de las figuras VI-14 y VI-15, resultando por simple inspección visual que el área de la región de confianza en muestras con 28 días de curado es ligeramente menor que el área de la región de confianza en muestras con 7 días de curado.

6.2.1.3.3. INTERVALOS AL 95% DE CONFIANZA DE LA MEDIA POBLACIONAL DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c = 0.70)

Se calcularon los intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto. En muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.70 a los 7 y 28 días de curado.

Tabla VI.30: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.70 a los 7 días de curado)

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la compresión promedio de la muestra f'_{cp} (Kg/cm ²)	Desviación típica de la muestra S_c (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (CV%)	Número de elementos de la muestra (n)	Nivel de confianza (100%)	Número de grados de libertad (n-1)	Estadístico T-de Student (t0)	Error(E) (Kg/cm ²)	Limite inferior de intervalo de confianza (Kg/cm ²)	Limite superior de intervalo de confianza (Kg/cm ²)	Intervalo al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto
7	0.70	0.00% - PATRÓN	P9	158.00	4.92	3.11%	3.00	95.00%	2.00	4.303	12.22	145.78	170.22	145.78 ≤ μ 9 ≤ 170.22
		0.50%	P10	180.71	5.02	2.78%	3.00	95.00%	2.00	4.303	12.46	168.25	193.18	168.25 ≤ μ 10 ≤ 193.18
		1.00%	P11	194.14	4.99	2.57%	3.00	95.00%	2.00	4.303	12.39	181.75	206.52	181.75 ≤ μ 11 ≤ 206.52
		1.00%	P12	192.03	5.29	2.76%	3.00	95.00%	2.00	4.303	13.15	178.88	205.18	178.88 ≤ μ 12 ≤ 205.18

Fuente: Elaboración propia

Tabla VI.31: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.70 a los 28 días de curado)

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la compresión promedio de la muestra f'_{cp} (Kg/cm ²)	Desviación típica de la muestra S_c (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (CV%)	Número de elementos de la muestra (n)	Nivel de confianza (100%)	Número de grados de libertad (n-1)	Estadístico T-de Student (t0)	Error(E) (Kg/cm ²)	Limite inferior de intervalo de confianza (Kg/cm ²)	Limite superior de intervalo de confianza (Kg/cm ²)	Intervalo al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto
28	0.70	0.00%	P9	172.64	5.87	3.40%	6.00	95.00%	5.00	2.571	6.16	166.48	178.81	166.48 ≤ μ_9 ≤ 178.81
		0.50%	P10	191.25	3.87	2.02%	6.00	95.00%	5.00	2.571	4.06	187.20	195.31	187.20 ≤ μ_{10} ≤ 195.31
		1.00%	P11	209.77	5.63	2.68%	6.00	95.00%	5.00	2.571	5.91	203.86	215.68	203.86 ≤ μ_{11} ≤ 215.68
		1.00%	P12	208.39	5.92	2.84%	6.00	95.00%	5.00	2.571	6.22	202.17	214.61	202.17 ≤ μ_{12} ≤ 214.61

Fuente: Elaboración propia

A partir de las tablas VI.30 y VI.31 se construyeron las figuras VI-16 y VI-17 de los intervalos de confianza al 95% de la media poblacional de la resistencia a la compresión (del concreto patrón y fibrorreforzado con relación $a/c = 0.70$) a los 7 y 28 días de curado respectivamente.

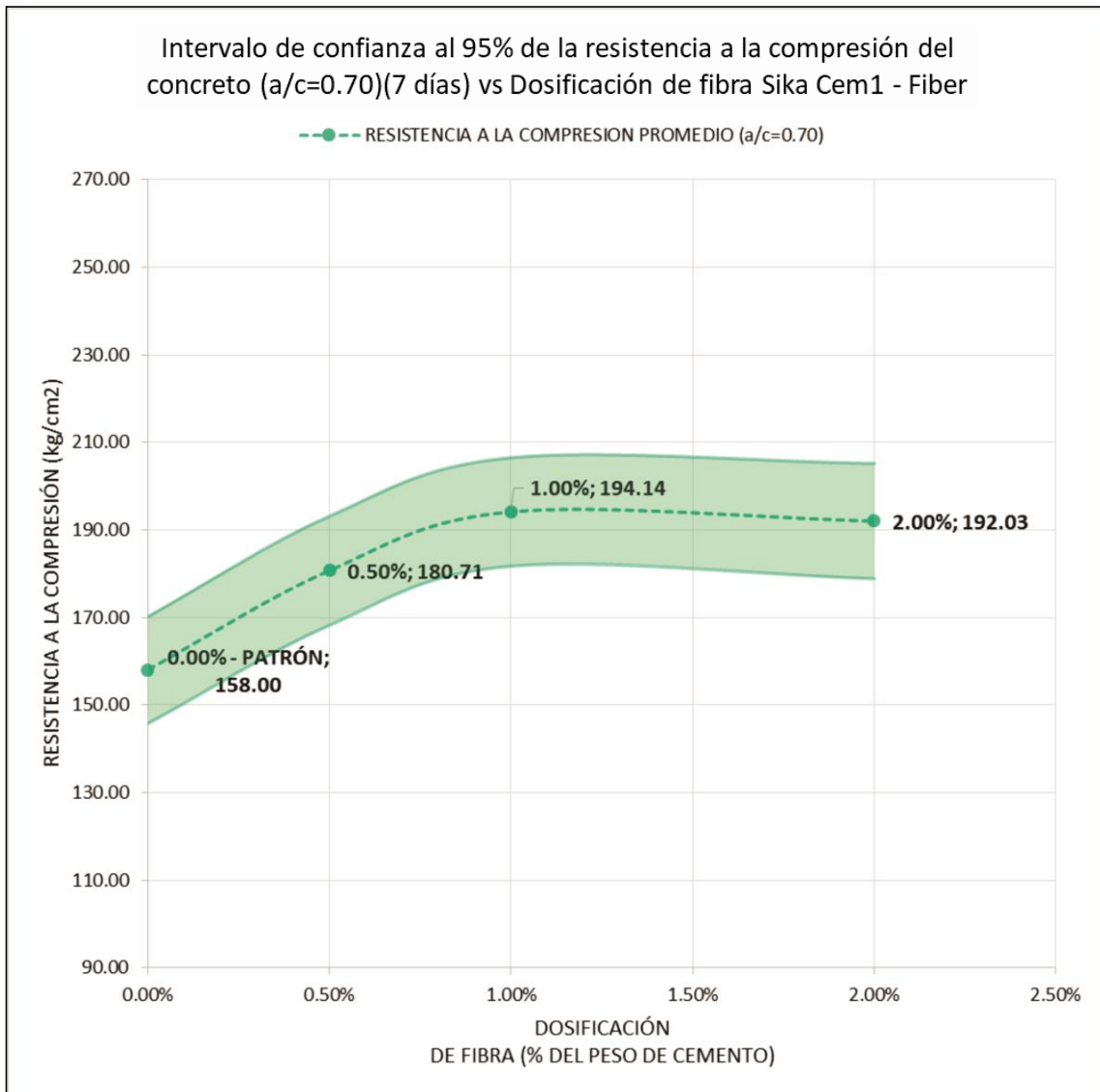


Figura VI-16: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación $a/c = 0.70$ y 7 días de curado)

Fuente: Elaboración propia

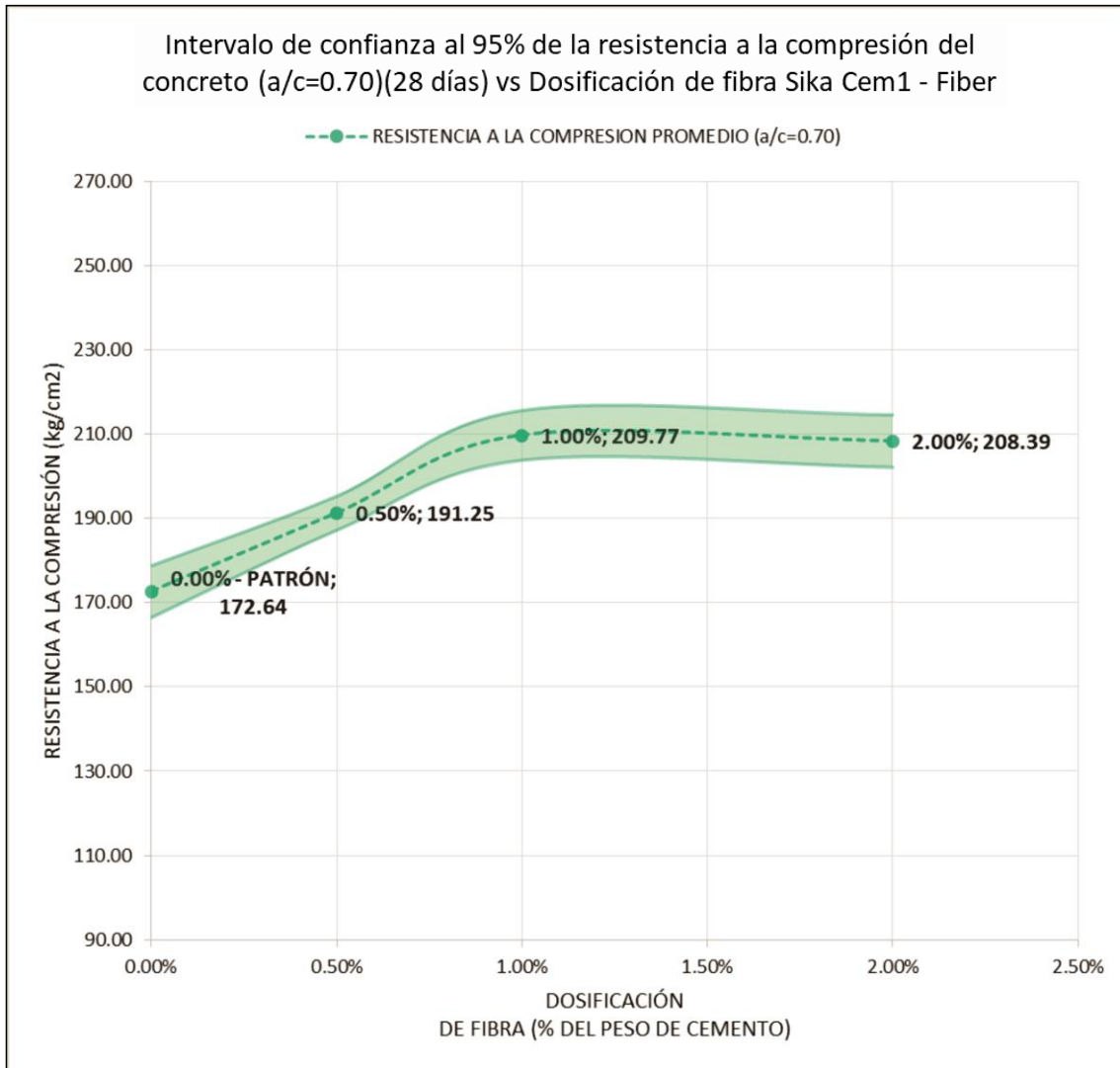


Figura VI-17: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la compresión (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.70 y 28 días de curado)

Fuente: Elaboración propia

De las tablas VI.30 y VI.31, se observó que el error promedio de los intervalos de confianza de las muestras con 28 días de curado es menor que el error promedio de los intervalos de confianza de las muestras con 7 días de curado:

$$\overline{E}_7 = \frac{12.22 + 12.46 + 12.39 + 13.15}{4} = 12.555$$

$$\overline{E}_{28} = \frac{6.16 + 4.06 + 5.91 + 6.22}{4} = 5.588$$

$$\overline{E}_{28} = 5.588 < \overline{E}_7 = 12.555$$

Un menor error promedio se traduce en una **mejor precisión de la región al 95% de confianza**, de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto, **en muestras con 28 días de curado**. Dicha precisión queda comprobada en las regiones sombreadas de las figuras VI-16 y VI-17, resultando por simple inspección visual que el área de la región de confianza en muestras con 28 días de curado es ligeramente menor que el área de la región de confianza en muestras con 7 días de curado.

OBSERVACIÓN ESTADÍSTICA:

Se sabe que el error (E) de los intervalos de confianza de la media poblacional, tiene la siguiente expresión:

$$E = \frac{t_0 S_c}{\sqrt{n}}$$

El error “E” es directamente proporcional al estadístico “t₀” y al estimador desviación típica “S_c” e inversamente proporcional a la raíz cuadrada del número de elementos de la muestra “n”.

Además, el número de elementos de la muestra de concreto con 28 días de curado (6 probetas) es mayor que el número de elementos de la muestra de concreto con 7 días curado (3 probetas), entonces:

- ✓ El estimador desviación típica “S_c” es un variable independiente sobre la cual no se tiene control alguno; el caso contrario sucede con las variables: Número de elementos de la muestra “n” y estadístico T- de Student “t₀” (que dependen del número de elementos de la muestra y el nivel de confianza elegidos por el investigador).
- ✓ Dado que el error “E” es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del número de elementos “n”; cuando mayor sea el número de elementos de la muestra “n”, el error “E” tenderá a disminuir y mejorar la precisión del intervalo de confianza.

- ✓ El estadístico T- de Student "t₀", para muestras con 7 días de curado es $t_0(7) = 4.303$ (debido a sus $3 - 1 = 2$ grados de libertad) y para muestras con 28 días de curado es $t_0(28) = 2.571$ (debido a sus $6 - 1 = 5$ grados de libertad); es decir a mayor número de elementos de la muestra, mayor será el número de grados de libertad de la misma y menor será el valor de t₀, dado que el error "E" es directamente proporcional al estadístico T- de Student "t₀", los valores del error "E" tenderán a disminuir y mejorar la precisión del intervalo de confianza.

De lo expuesto se observa que un mayor número de elementos de muestras de concreto para el ensayo de resistencia a la compresión, mejoraran la precisión de los intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto, de aquí la importancia de la elección de un número adecuado de muestras.

6.2.1.4. ANÁLISIS DE TIPOS DE FALLA DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Con los resultados de los tipos de falla (de acuerdo a la NTP339.034) registrados en los ensayos de resistencia a la compresión suscritos en el CAPITULO V - 5.2.1, se elaboraron tablas resumen de los tipos de falla encontrados en las muestras con 7 y 28 días de curado.

6.2.1.4.1. TIPOS DE FALLA EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c = 0.60)

Se muestran los tipos de falla, del ensayo de resistencia a la compresión, en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado de relación a/c = 0.60 con 7 y 28 días de curado.

Tabla VI.32: Tipos de falla en muestras de concreto patrón y fibrorreforzadas con relación (a/c = 0.60) y 7 días de curado.

N° días de curado	a/c	N° de muestra	TIPO DE FALLA			
			Patrón 0.00%	Fibra al 0.50%	Fibra al 1.00%	Fibra al 2.00%
7	0.60	1	5	3	3	3
		2	6	3	3	3
		3	5	3	3	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla VI.33: Tipos de falla en muestras de concreto patrón y fibrorreforzadas con relación (a/c = 0.60) y 28 días de curado.

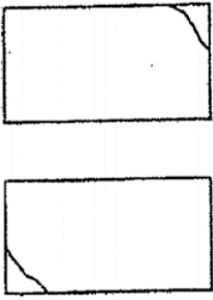


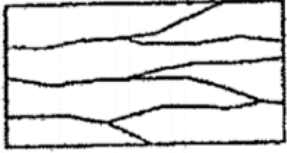

N° días de curado	a/c	N° de muestra	TIPO DE FALLA			
			Patrón 0.00%	Fibra al 0.50%	Fibra al 1.00%	Fibra al 2.00%
28	0.60	1	6	3	3	3
		2	5	3	3	3
		3	6	5	3	3
		4	6	3	3	3
		5	5	5	3	3
		6	6	3	5	3

Fuente: Elaboración propia.

De las tablas VI.32 y VI.33, se observa que las muestras de concreto patrón (a/c=0.60) presentan fallas "Tipo 5" o "Tipo 6" y a medida que se incrementa la dosificación de fibra sintética las muestras presentan una tendencia a la falla "Tipo 3".

De la tabla VI.34 se observa que las muestras fibrorreforzadas al 2.00%, presentan muchas grietas verticales con escaso desprendimiento de material, manteniendo la muestra su integridad (a pesar de las grietas) en la etapa posterior al ensayo de resistencia a la compresión.

Tabla VI.34: Comparación de tipos de falla entre muestras de concreto patrón y fibrorreforzado al 2.00%, con relación (a/c = 0.60) y 28 días de curado.

a/c	Muestra	Tipo de falla	Descripción	Esquema	Fotografía
0.60	Patrón (0.00%)	Tipo 5	Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado.		
		Tipo 6	Similar al Tipo 5, pero el terminal del cilindro es acentuado.		
	Fibrorreforzada al 2.00%	Tipo 3	Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.		

Fuente: Elaboración propia

6.2.1.4.2. TIPOS DE FALLA EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c = 0.65)

Se muestran los tipos de falla, del ensayo de resistencia a la compresión, en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado de relación a/c = 0.65 con 7 y 28 días de curado.

Tabla VI.35: Tipos de falla en muestras de concreto patrón y fibrorreforzadas con relación (a/c = 0.65) y 7 días de curado.

N° días de curado	a/c	N° de muestra	TIPO DE FALLA			
			Patrón 0.00%	Fibra al 0.50%	Fibra al 1.00%	Fibra al 2.00%
7	0.65	1	2	3	3	3
		2	3	3	3	3
		3	2	3	3	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla VI.36: Tipos de falla en muestras de concreto patrón y fibrorreforzadas con relación (a/c = 0.65) y 28 días de curado.

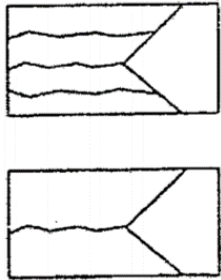

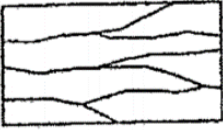

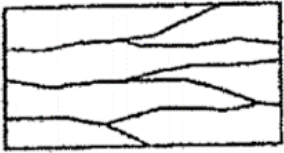
N° días de curado	a/c	N° de muestra	TIPO DE FALLA			
			Patrón 0.00%	Fibra al 0.50%	Fibra al 1.00%	Fibra al 2.00%
28	0.65	1	3	3	2	3
		2	3	2	3	3
		3	2	3	3	3
		4	3	3	3	3
		5	2	3	3	3
		6	3	3	3	3

Fuente: Elaboración propia.

De las tablas VI.35 y VI.36, se observa que las muestras de concreto patrón (a/c=0.65) presentan fallas "Tipo 3" o "Tipo 2" y a medida que se incrementa la dosificación de fibra sintética las muestras presentan una tendencia a la falla "Tipo 3".

De la tabla VI.37 se observa que las muestras (patrón y las fibrorreforzadas al 2.00%) a pesar de presentar el mismo tipo de falla "Tipo 3", la muestra patrón presenta pocas grietas verticales con mucho desprendimiento de material, en cambio la muestra fibrorreforzada al 2.00% presenta muchas grietas verticales con escaso desprendimiento de material.

Tabla VI.37: Comparación de tipos de falla entre muestras de concreto patrón y fibrorreforzado al 2.00%, con relación (a/c = 0.65) y 28 días de curado.

a/c	Muestra	Tipo de falla	Descripción	Esquema	Fotografía
0.65	Patrón (0.00%)	Tipo 2	Cono bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base.		
		Tipo 3	Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.		
	Fibrorreforzada al 2.00%	Tipo 3	Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.		

Fuente: Elaboración propia

6.2.1.4.3. TIPOS DE FALLA EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c = 0.70)

Se muestran los tipos de falla, del ensayo de resistencia a la compresión, en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado de relación a/c = 0.70 con 7 y 28 días de curado.

Tabla VI.38: Tipos de falla en muestras de concreto patrón y fibrorreforzadas con relación (a/c = 0.70) y 7 días de curado.

N° días de curado	a/c	N° de muestra	TIPO DE FALLA			
			Patrón 0.00%	Fibra al 0.50%	Fibra al 1.00%	Fibra al 2.00%
7	0.70	1	3	2	3	3
		2	3	2	2	3
		3	3	5	3	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla VI.39: Tipos de falla en muestras de concreto patrón y fibrorreforzadas con relación (a/c = 0.70) y 28 días de curado.

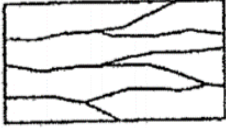

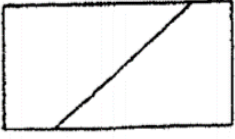
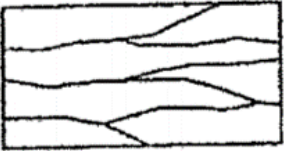

N° días de curado	a/c	N° de muestra	TIPO DE FALLA			
			Patrón 0.00%	Fibra al 0.50%	Fibra al 1.00%	Fibra al 2.00%
28	0.70	1	3	2	3	3
		2	4	2	5	3
		3	3	2	3	5
		4	3	2	3	3
		5	3	5	5	3
		6	4	2	3	3

Fuente: Elaboración propia.

De las tablas VI.38 y VI.39, se observa que las muestras de concreto patrón (a/c=0.70) presentan fallas "Tipo 3" o "Tipo 4" y a medida que se incrementa la dosificación de fibra sintética las muestras presentan una tendencia a la falla "Tipo 3".

De la tabla VI.40 se observa que las muestras (patrón y las fibrorreforzadas al 2.00%) a pesar de presentar el mismo tipo de falla "Tipo 3", la muestra patrón presenta grietas verticales con mucho desprendimiento de material, en cambio la muestra fibrorreforzada al 2.00% presenta grietas verticales con escaso desprendimiento de material.

Tabla VI.40: Comparación de tipos de falla entre muestras de concreto patrón y fibrorreforzado al 2.00%, con relación (a/c = 0.70) y 28 días de curado.

a/c	Muestra	Tipo de falla	Descripción	Esquema	Fotografía
0.70	Patrón (0.00%)	Tipo 3	Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.		
		Tipo 4	Fractura diagonal sin grietas en la base; golpear con martillo para diferenciar del "Tipo 1"		
	Fibrorreforzada al 2.00%	Tipo 3	Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados.		

Fuente: Elaboración propia

OBSERVACIÓN:

De las muestras en estudio se evidencia que la presencia de mayores dosificaciones de fibra en el concreto tiene como consecuencia un escaso desprendimiento de material durante el ensayo de resistencia a la compresión (como resultado de la red tridimensional que forma la fibra sintética al distribuirse en la masa de concreto), dicha propiedad del concreto fibrorreforzado de mantener su integridad a pesar de presentar grietas es evidencia del incremento de la ductilidad del mismo con respecto al concreto patrón, teniendo como posibles beneficios:

- ✓ Ante eventualidades sísmicas en edificaciones de concreto armado, los elementos de concreto fibrorreforzado presentarían un menor desprendimiento de material, en consecuencia se disminuiría el riesgo de daños personales.

- ✓ En el caso de concretos de alta resistencia donde la falla en la rotura es explosiva, el refuerzo de fibra sintética podría ser usada para controlar su tipo de falla otorgándole propiedades dúctiles (limitadas) al concreto.

6.2.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIÁMETRAL (NTP 339.084)

Como paso previo a realizar el análisis detallado de los resultados de los ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto (tracción indirecta), se verificó la validez de los mismos; sin embargo en la NTP 339.084, no se especifica ni recomienda un coeficiente de variación máximo admisible para las muestras de concreto de 100x200 mm refiriéndose que no se realizaron estudios de laboratorio sobre este método de ensayo.

Según G.TESORIERE, S.MARINO (Instituto de construcción de carreteras, Universidad de Palermo - Italia) y S.CANALE (Hidráulica, Transporte y Carreteras, Universidad de Roma, Italia) en su investigación **“Thermic effects for rupture tests at indirect tensile test on asphalt concrete”**, se ensayaron a tracción diametral o tracción indirecta muestras de concreto asfáltico de 100 mm de diámetro, reportándose con este método coeficientes de variación máximos de 10% para muestras en condiciones de temperatura de 25°C. Se usará dicho coeficiente de variación como máximo permisible para la verificación de validez de las muestras de concreto.

Tabla VI.41: Verificación de la validez de los resultados del ensayo de resistencia a la tracción de las muestras de concreto con 7 días de curado.

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la tracción promedio de la muestra T_{cp} (Kg/cm ²)	Desviación estándar de la muestra σ_t (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (CV%)	Coefficiente de variación máximo permisible (CV% _{máx})	CONDICIÓN DE LA MUESTRA
7	0.60	0.00% - PATRÓN	P1	27.37	0.70	2.57%	10.00%	ACEPTADA
		0.50%	P2	27.73	0.97	3.51%	10.00%	ACEPTADA
		1.00%	P3	28.08	0.99	3.52%	10.00%	ACEPTADA
		2.00%	P4	29.05	1.40	4.84%	10.00%	ACEPTADA
	0.65	0.00% - PATRÓN	P5	21.81	0.64	2.95%	10.00%	ACEPTADA
		0.50%	P6	22.19	0.60	2.68%	10.00%	ACEPTADA
		1.00%	P7	22.94	0.80	3.50%	10.00%	ACEPTADA
		2.00%	P8	23.92	0.58	2.44%	10.00%	ACEPTADA
	0.70	0.00% - PATRÓN	P9	16.96	0.62	3.66%	10.00%	ACEPTADA
		0.50%	P10	17.92	0.73	4.08%	10.00%	ACEPTADA
		1.00%	P11	19.26	0.73	3.78%	10.00%	ACEPTADA
		1.00%	P12	20.30	0.74	3.66%	10.00%	ACEPTADA

Fuente: Elaboración propia.

Tabla VI.42: Verificación de la validez de los resultados del ensayo de resistencia a la tracción de las muestras de concreto con 28 días de curado.

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la tracción promedio de la muestra T_{cp} (Kg/cm ²)	Desviación estándar de la muestra ot (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (CV%)	Coefficiente de variación máximo permisible (CV% _{máx})	CONDICIÓN DE LA MUESTRA
28	0.60	0.00% - PATRÓN	P1	31.51	1.26	4.00%	10.00%	ACEPTADA
		0.50%	P2	31.71	0.41	1.30%	10.00%	ACEPTADA
		1.00%	P3	32.59	1.66	5.10%	10.00%	ACEPTADA
		2.00%	P4	33.62	1.11	3.29%	10.00%	ACEPTADA
	0.65	0.00% - PATRÓN	P5	24.92	0.79	3.16%	10.00%	ACEPTADA
		0.50%	P6	25.64	0.42	1.65%	10.00%	ACEPTADA
		1.00%	P7	26.71	0.92	3.44%	10.00%	ACEPTADA
		2.00%	P8	27.81	1.07	3.83%	10.00%	ACEPTADA
	0.70	0.00% - PATRÓN	P9	19.62	0.76	3.85%	10.00%	ACEPTADA
		0.50%	P10	20.50	0.56	2.73%	10.00%	ACEPTADA
		1.00%	P11	22.67	0.86	3.77%	10.00%	ACEPTADA
		1.00%	P12	23.35	0.74	3.16%	10.00%	ACEPTADA

Fuente: Elaboración propia.

Se observó que la totalidad de las muestras ensayadas a tracción indirecta presentaron coeficientes de variación inferiores al máximo permisible asumido de 10.00%, por lo cual se aceptó la validez de los resultados obtenidos para su posterior análisis.

6.2.2.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO

6.2.2.1.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO EN MUESTRAS CON 7 DÍAS DE CURADO

Con las resistencias a la tracción promedio suscritas en el CAPITULO V - 5.2.2; se elaboró la tabla VI.43, como resumen de los resultados del ensayo de tracción indirecta en muestras de concreto con 7 días de curado.

Tabla VI.43: Resumen de resultados de resistencia a la tracción promedio (en muestras de concreto con 7 días de curado).

a/c	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO - 7 DÍAS (Kg/cm ²)			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	27.37	27.73	28.08	29.05
0.65	21.81	22.19	22.94	23.92
0.70	16.96	17.92	19.26	20.30

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla VI.43, se construyó la tabla VI.44, como una correspondencia de cada valor de resistencia a la tracción respecto a la resistencia a la tracción de su concreto patrón (según su relación a/c), expresado en porcentaje.

Tabla VI.44: Resistencia a la tracción promedio (%) en función de la resistencia a la tracción promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 7 días de curado).

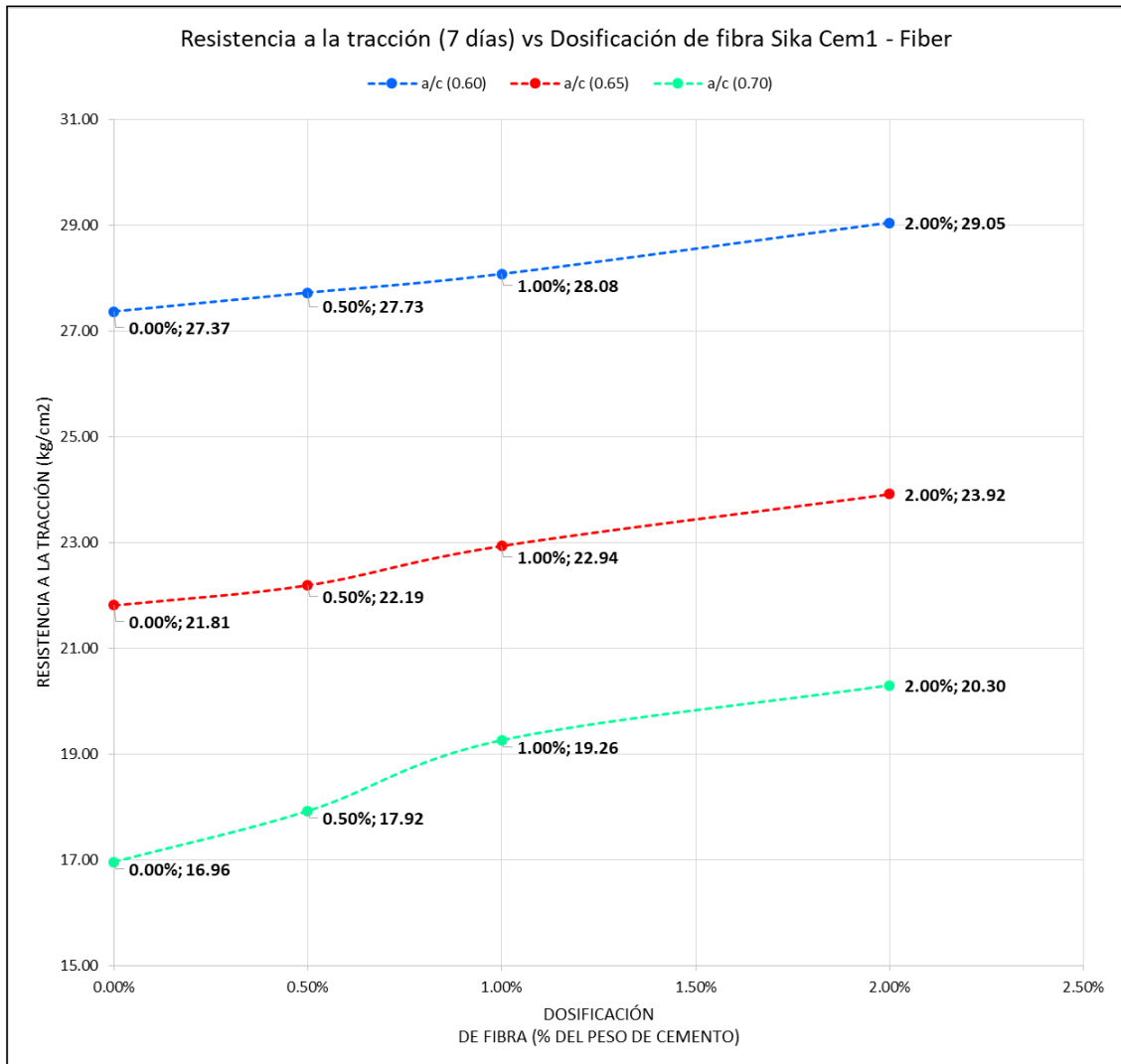
a/c	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO (%) EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO DEL CONCRETO PATRÓN - 7 DÍAS			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	100.00%	101.30%	102.59%	106.12%
0.65	100.00%	101.75%	105.16%	109.65%
0.70	100.00%	105.68%	113.57%	119.70%

Nota: Los concretos patrones tienen una resistencia a la tracción promedio (%) del 100.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

Para cada relación (a/c), de la tabla VI.43, se graficaron los resultados de Resistencia a la tracción promedio vs dosificación de fibra sintética (en % del peso del cemento).

Figura VI-18: Resistencia a la tracción promedio (7 días) (Kg/cm^2) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.60, 0.65, 0.70)



Fuente: Elaboración propia.

De la figura VI-18, se observa que:

- ✓ Cada incremento en la dosificación de fibra sintética genera un incremento de la resistencia a la tracción con respecto a la resistencia a la tracción del concreto patrón (a los 7 días de curado), dicho incremento queda expresado cuantitativa y porcentualmente en la tabla VI.45.

Tabla VI.45: Incremento de la resistencia a la tracción promedio (%) en función de la resistencia a la tracción promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 7 días de curado).

a/c	INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO (%) EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO DEL CONCRETO PATRÓN - 7 DÍAS			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	0.00%	1.30%	2.59%	6.12%
0.65	0.00%	1.75%	5.16%	9.65%
0.70	0.00%	5.68%	13.57%	19.70%

Nota: Los concretos patrones tienen un incremento de la resistencia a la tracción promedio (%) del 0.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla VI.45, para muestras con relación a/c = (0.60, 0.65, 0.70) y 7 días de curado se observó:

- ✓ Las muestras de concreto fibrorreforzadas al 0.50% del peso del cemento, presentaron un incremento de la resistencia a la tracción promedio de: Entre 1.30 a 5.68 % con respecto a la resistencia a la tracción promedio del concreto patrón.
- ✓ Las muestras de concreto fibrorreforzadas al 1.00% del peso del cemento, presentaron un incremento de la resistencia a la tracción promedio de: Entre 2.59 a 13.57 % con respecto a la resistencia a la tracción promedio del concreto patrón.
- ✓ Las muestras de concreto fibrorreforzadas al 2.00% del peso del cemento, presentaron un incremento de la resistencia a la tracción promedio de: Entre 6.12 a 19.70 % con respecto a la resistencia a la tracción promedio del concreto patrón.
- ✓ Las muestras de concreto fibrorreforzado con valores de relación a/c superiores (por ende de menor resistencia), registraron mayores incrementos porcentuales (%) en su resistencia a la tracción promedio. En conclusión el impacto del refuerzo de fibra sintética sobre la resistencia a la tracción es más significativo en concretos de menor F'c.

6.2.2.1.2. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO EN MUESTRAS CON 28 DÍAS DE CURADO

Con las resistencias a la tracción promedio suscritas en el CAPITULO V - 5.2.2; se elaboró la tabla VI.46, como resumen de los resultados del ensayo de tracción indirecta en muestras de concreto con 28 días de curado.

Tabla VI.46: Resumen de resultados de resistencia a la tracción promedio (en muestras de concreto con 28 días de curado).

a/c	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO - 28 DÍAS (Kg/cm ²)			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	31.51	31.71	32.59	33.62
0.65	24.92	25.64	26.71	27.81
0.70	19.62	20.50	22.67	23.35

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla VI.46, se construyó la tabla VI.47, como una correspondencia de cada valor de resistencia a la tracción respecto a la resistencia a la tracción de su concreto patrón (según su relación a/c), expresado en porcentaje.

Tabla VI.47: Resistencia a la tracción promedio (%) en función de la resistencia a la tracción promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 28 días de curado).

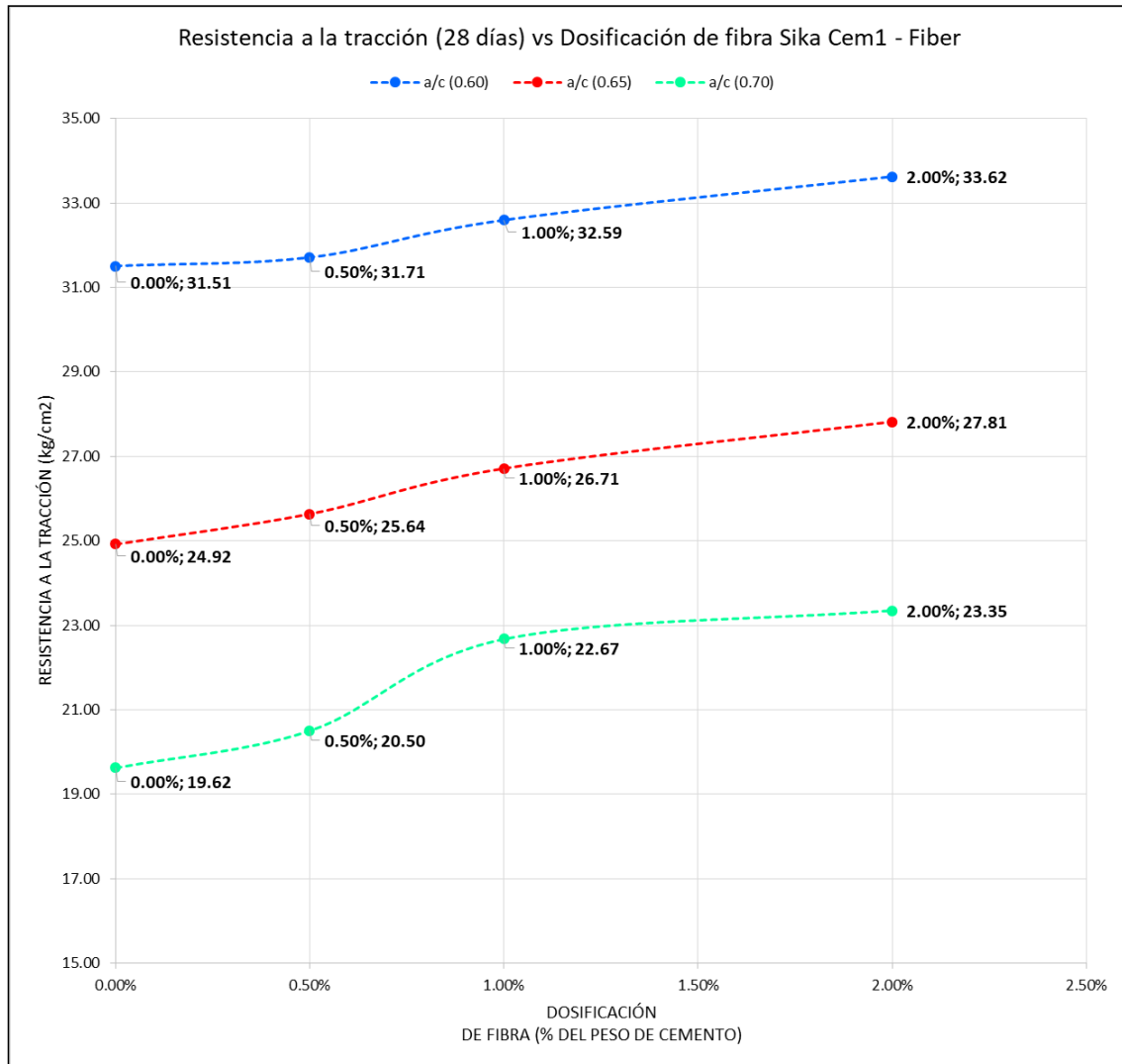
a/c	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO (%) EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO DEL CONCRETO PATRÓN - 28 DÍAS			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	100.00%	100.65%	103.45%	106.72%
0.65	100.00%	102.88%	107.18%	111.60%
0.70	100.00%	104.49%	115.54%	118.99%

Nota: Los concretos patrones tienen una resistencia a la tracción promedio (%) del 100.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

Para cada relación (a/c), de la tabla VI.46, se graficaron los resultados de Resistencia a la tracción promedio vs dosificación de fibra sintética (en % del peso del cemento).

Figura VI-19: Resistencia a la tracción promedio (28 días) (Kg/cm²) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.60, 0.65, 0.70)



Fuente: Elaboración propia.

De la figura VI-19, se observa que:

- ✓ Cada incremento en la dosificación de fibra sintética genera un incremento de la resistencia a la tracción con respecto a la resistencia a la tracción del concreto patrón (a los 28 días de curado), dicho incremento queda expresada cuantitativa y porcentualmente en la tabla VI.48.

Tabla VI.48: Incremento de la resistencia a la tracción promedio (%) en función de la resistencia a la tracción promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 28 días de curado).

a/c	INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO (%) EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO DEL CONCRETO PATRÓN - 28 DÍAS			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	0.00%	0.65%	3.45%	6.72%
0.65	0.00%	2.88%	7.18%	11.60%
0.70	0.00%	4.49%	15.54%	18.99%

Nota: Los concretos patrones tienen un incremento de la resistencia a la tracción promedio (%) del 0.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla VI.48, para muestras de concreto con relación a/c = (0.60, 0.65, 0.70) y 28 días de curado, se observó:

- ✓ Las muestras de concreto fibrorreforzadas al 0.50% del peso del cemento, presentaron un incremento de la resistencia a la tracción promedio de: Entre 0.65 a 4.49 % con respecto a la resistencia a la tracción promedio del concreto patrón.
- ✓ Las muestras de concreto fibrorreforzadas al 1.00% del peso del cemento, presentaron un incremento de la resistencia a la tracción promedio de: Entre 3.45 a 15.54 % con respecto a la resistencia a la tracción promedio del concreto patrón.
- ✓ Las muestras de concreto fibrorreforzadas al 2.00% del peso del cemento, presentaron un incremento de la resistencia a la tracción promedio de: Entre 6.72 a 18.99% con respecto a la resistencia a la tracción promedio del concreto patrón.
- ✓ Las muestras de concreto fibrorreforzado con valores de relación a/c superiores (por ende de menor resistencia), registraron mayores incrementos porcentuales (%) en su resistencia a la tracción promedio. En conclusión el impacto del refuerzo de fibra sintética sobre la resistencia a la tracción es más significativo en concretos de menor F'c.

6.2.2.2. INTERVALOS DE CONFIANZA DE LA MEDIA POBLACIONAL DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO

Con los resultados de los ensayos de resistencia a la tracción suscritos en CAPITULO V - 5.2.2, se calculó el intervalo de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción (de cada muestra en estudio), teniendo en cuenta que la varianza poblacional es desconocida y las muestras son pequeñas con menos de 30 elementos ($n < 30$). Para tales fines se recurrió a la distribución T - de Student (por tratarse de muestras pequeñas, con distribución aproximada a la normal).

Siendo "T'c" la variable aleatoria de resistencia a la tracción con distribución aproximadamente normal, con media poblacional " μ_t " y varianza poblacional " σ_t^2 " (desconocida). Dado que " σ_t^2 " es desconocido se usó el estimador desviación típica de la muestra " S_t^2 ". Se usó la siguiente metodología (similar a la expuesta en 6.2.1.3) para el cálculo del intervalo de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción.

- ✓ Se eligió el nivel de confianza $\gamma = 1 - \alpha$
- ✓ Se determinó t_0 (valor de estadístico T), de la siguiente ecuación:

$$P(T \leq t_0) = \frac{1}{2} (1 + \gamma)$$

Con la tabla VI.25 de la distribución T – de Student, con "n – 1" grados de libertad (siendo n el número de elementos de la muestra) y el nivel de confianza " γ ".

- ✓ Se calcularon la media muestral $\overline{T'c}$ y la desviación típica muestral s_t de las resistencias a la tracción.
- ✓ Se calculó el error "E":

$$E = \frac{t_0 s_t}{\sqrt{n}}$$

- ✓ Luego, se calculó el límite inferior y límite superior del intervalo de confianza al 100γ% de la media poblacional de la resistencia a la tracción como:

$$L_I = \bar{T}'c - E = \bar{T}'c - \frac{t_0 S_t}{\sqrt{n}}$$
$$L_S = \bar{T}'c + E = \bar{T}'c + \frac{t_0 S_t}{\sqrt{n}}$$

- ✓ Se escribió el intervalo de confianza al 100γ% de la media poblacional de la resistencia a la compresión como:

$$L_I \leq \mu \leq L_C$$

$$\bar{T}'c - E \leq \mu \leq \bar{T}'c + E$$

$$\bar{T}'c - \frac{t_0 S_t}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{T}'c + \frac{t_0 S_t}{\sqrt{n}}$$

$$\mu \in \left[\bar{T}'c - \frac{t_0 S_t}{\sqrt{n}}, \bar{T}'c + \frac{t_0 S_t}{\sqrt{n}} \right]$$

Con la metodología expuesta se calcularon los intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción, de cada una de las muestras estudiadas.

6.2.2.2.1. INTERVALOS AL 95% DE CONFIANZA DE LA MEDIA POBLACIONAL DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c = 0.60)

Se calcularon los intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto. En muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.60 a los 7 y 28 días de curado.

Tabla VI.49: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.60 a los 7 días de curado)

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la compresión promedio de la muestra T'_{cp} (Kg/cm ²)	Desviación típica de la muestra S_t (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (CV%)	Número de elementos de la muestra (n)	Nivel de confianza (100v%)	Número de grados de libertad (n-1)	Estadístico T-de Student (t0)	Error(E) (Kg/cm ²)	Limite inferior de intervalo de confianza (Kg/cm ²)	Limite superior de intervalo de confianza (Kg/cm ²)	Intervalo al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto
7	0.60	0.00% - PATRÓN	P1	27.37	0.70	2.57%	3.00	95.00%	2.00	4.303	1.75	25.62	29.12	25.62 ≤ μ_1 ≤ 29.12
		0.50%	P2	27.73	0.97	3.51%	3.00	95.00%	2.00	4.303	2.42	25.31	30.15	25.31 ≤ μ_2 ≤ 30.15
		1.00%	P3	28.08	0.99	3.52%	3.00	95.00%	2.00	4.303	2.46	25.62	30.54	25.62 ≤ μ_3 ≤ 30.54
		2.00%	P4	29.05	1.40	4.84%	3.00	95.00%	2.00	4.303	3.49	25.56	32.54	25.56 ≤ μ_4 ≤ 32.54

Fuente: Elaboración propia

Tabla VI.50: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.60 a los 28 días de curado)

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la compresión promedio de la muestra T'_{cp} (Kg/cm ²)	Desviación típica de la muestra S_t (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (CV%)	Número de elementos de la muestra (n)	Nivel de confianza (100%)	Número de grados de libertad (n-1)	Estadístico T-de Student (t0)	Error(E) (Kg/cm ²)	Limite inferior de intervalo de confianza (Kg/cm ²)	Limite superior de intervalo de confianza (Kg/cm ²)	Intervalo al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto
28	0.60	0.00%	P1	31.51	1.26	4.00%	6.00	95.00%	5.00	2.571	1.32	30.18	32.83	30.18 ≤ μ_1 ≤ 32.83
		0.50%	P2	31.71	0.41	1.30%	6.00	95.00%	5.00	2.571	0.43	31.28	32.14	31.28 ≤ μ_2 ≤ 32.14
		1.00%	P3	32.59	1.66	5.10%	6.00	95.00%	5.00	2.571	1.74	30.85	34.34	30.85 ≤ μ_3 ≤ 34.34
		2.00%	P4	33.62	1.11	3.29%	6.00	95.00%	5.00	2.571	1.16	32.46	34.78	32.46 ≤ μ_4 ≤ 34.78

Fuente: Elaboración propia

A partir de las tablas VI.49 y VI.50 se construyeron las figuras VI-20 y VI-21 de los intervalos de confianza al 95% de la media poblacional de la resistencia a la tracción (del concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.60) a los 7 y 28 días de curado respectivamente.

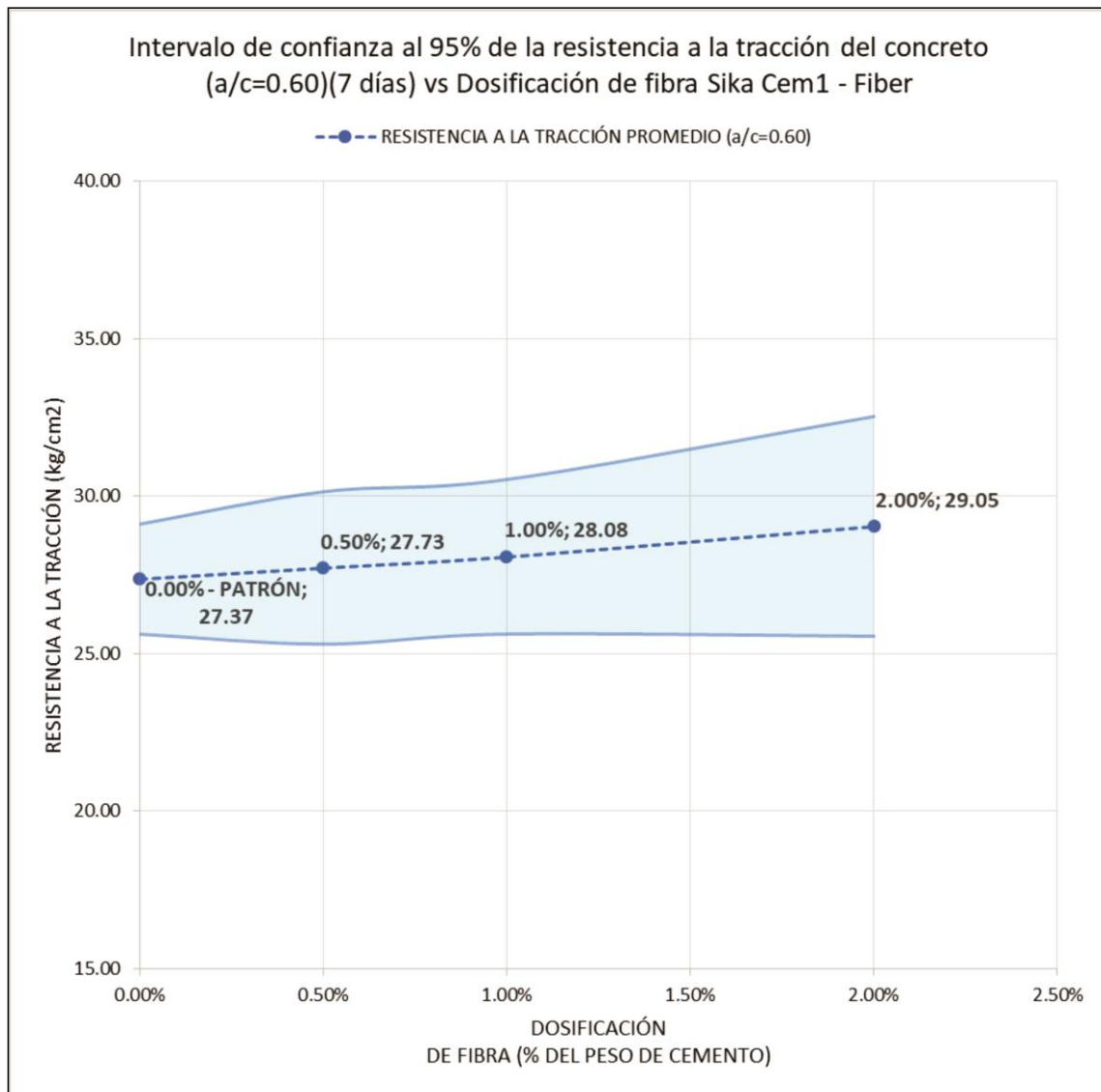


Figura VI-20: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.60 y 7 días de curado)

Fuente: Elaboración propia

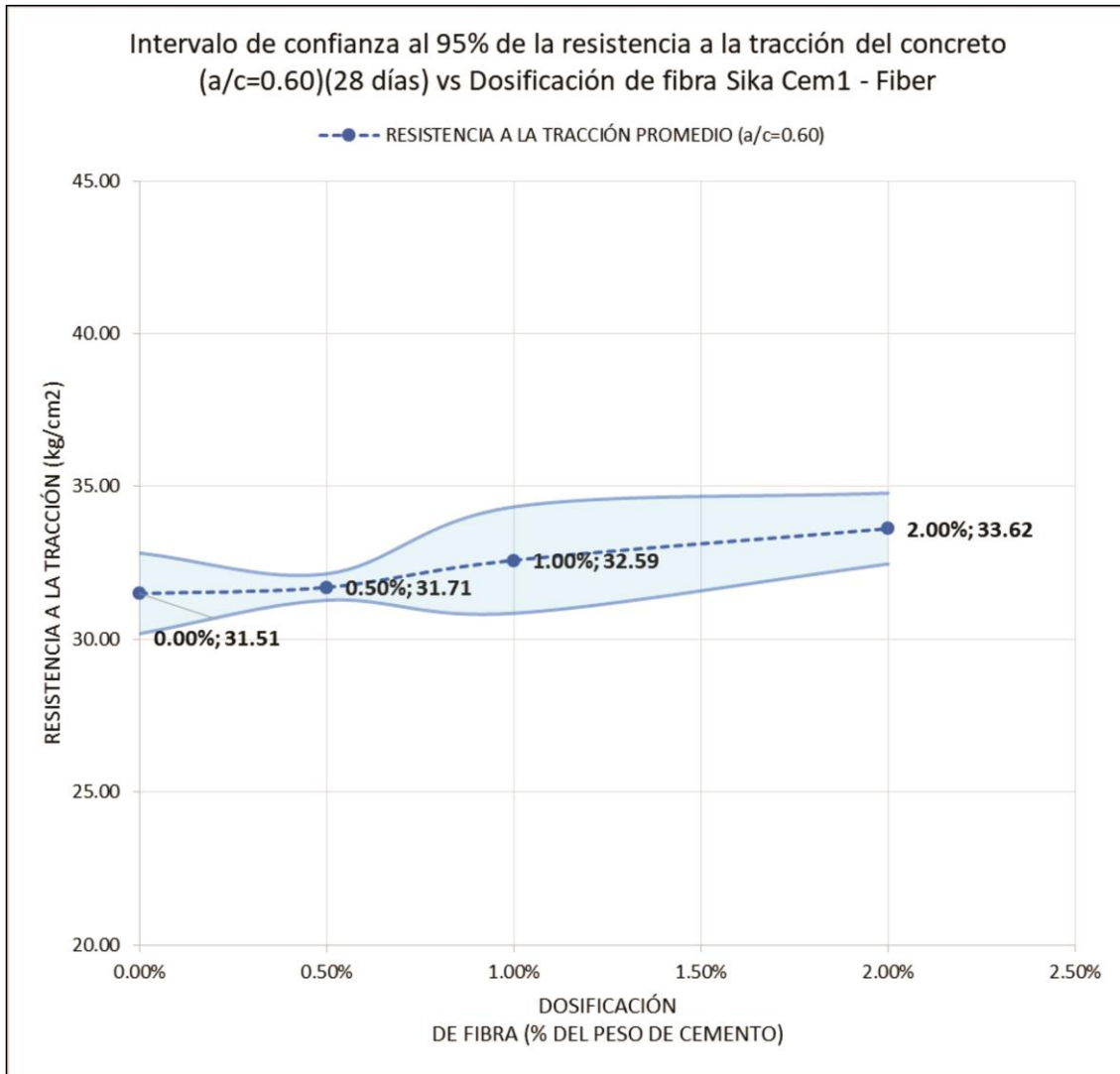


Figura VI-21: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.60 y 28 días de curado)

Fuente: Elaboración propia

De las tablas VI.49 y VI.50, se observó que el error promedio de los intervalos de confianza de las muestras con 28 días de curado es menor que el error promedio de los intervalos de confianza de las muestras con 7 días de curado:

$$\bar{E}_7 = \frac{1.75 + 2.42 + 2.46 + 3.49}{4} = 2.53$$

$$\bar{E}_{28} = \frac{1.32 + 0.43 + 1.74 + 1.16}{4} = 1.163$$

$$\bar{E}_{28} = 1.163 < \bar{E}_7 = 2.53$$

Un menor error promedio se traduce en una **mejor precisión de la región al 95% de confianza**, de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto, **en muestras con 28 días de curado**. Dicha precisión queda comprobada en las regiones sombreadas de las figuras VI-20 y VI-21, resultando por simple inspección visual que el área de la región de confianza en muestras con 28 días de curado es menor que el área de la región de confianza en muestras con 7 días de curado.

6.2.2.2.2. INTERVALOS AL 95% DE CONFIANZA DE LA MEDIA POBLACIONAL DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c = 0.65)

Se calcularon los intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto. En muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.65 a los 7 y 28 días de curado.

Tabla VI.51: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.65 a los 7 días de curado)

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la compresión promedio de la muestra T_{cp} (Kg/cm ²)	Desviación típica de la muestra S_t (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (CV%)	Número de elementos de la muestra (n)	Nivel de confianza (100%)	Número de grados de libertad (n-1)	Estadístico T-de Student (t0)	Error(E) (Kg/cm ²)	Limite inferiorde intervalo de confianza (Kg/cm ²)	Limite superiorde intervalo de confianza (Kg/cm ²)	Intervalo al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto
7	0.65	0.00% - PATRÓN	P5	21.81	0.64	2.95%	3.00	95.00%	2.00	4.303	1.60	20.21	23.41	20.21 ≤ μ5 ≤ 23.41
		0.50%	P6	22.19	0.60	2.68%	3.00	95.00%	2.00	4.303	1.48	20.71	23.67	20.71 ≤ μ6 ≤ 23.67
		1.00%	P7	22.94	0.80	3.50%	3.00	95.00%	2.00	4.303	1.99	20.94	24.93	20.94 ≤ μ7 ≤ 24.93
		2.00%	P8	23.92	0.58	2.44%	3.00	95.00%	2.00	4.303	1.45	22.46	25.37	22.46 ≤ μ8 ≤ 25.37

Fuente: Elaboración propia

Tabla VI.52: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.65 a los 28 días de curado)

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la compresión promedio de la muestra T'_{cp} (Kg/cm ²)	Desviación típica de la muestra S_t (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (CV%)	Número de elementos de la muestra (n)	Nivel de confianza (100y%)	Número de grados de libertad (n-1)	Estadístico T-de Student (t0)	Error(E) (Kg/cm ²)	Limite inferior de intervalo de confianza (Kg/cm ²)	Limite superior de intervalo de confianza (Kg/cm ²)	Intervalo al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto
28	0.65	0.00%	P5	24.92	0.79	3.16%	6.00	95.00%	5.00	2.571	0.83	24.09	25.75	24.09 ≤ μ 5 ≤ 25.75
		0.50%	P6	25.64	0.42	1.65%	6.00	95.00%	5.00	2.571	0.44	25.19	26.08	25.19 ≤ μ 6 ≤ 26.08
		1.00%	P7	26.71	0.92	3.44%	6.00	95.00%	5.00	2.571	0.96	25.74	27.67	25.74 ≤ μ 7 ≤ 27.67
		2.00%	P8	27.81	1.07	3.83%	6.00	95.00%	5.00	2.571	1.12	26.69	28.93	26.69 ≤ μ 8 ≤ 28.93

Fuente: Elaboración propia

A partir de las tablas VI.51 y VI.52 se construyeron las figuras VI-22 y VI-23 de los intervalos de confianza al 95% de la media poblacional de la resistencia a la tracción (del concreto patrón y fibrorreforzado con relación $a/c = 0.65$) a los 7 y 28 días de curado respectivamente.

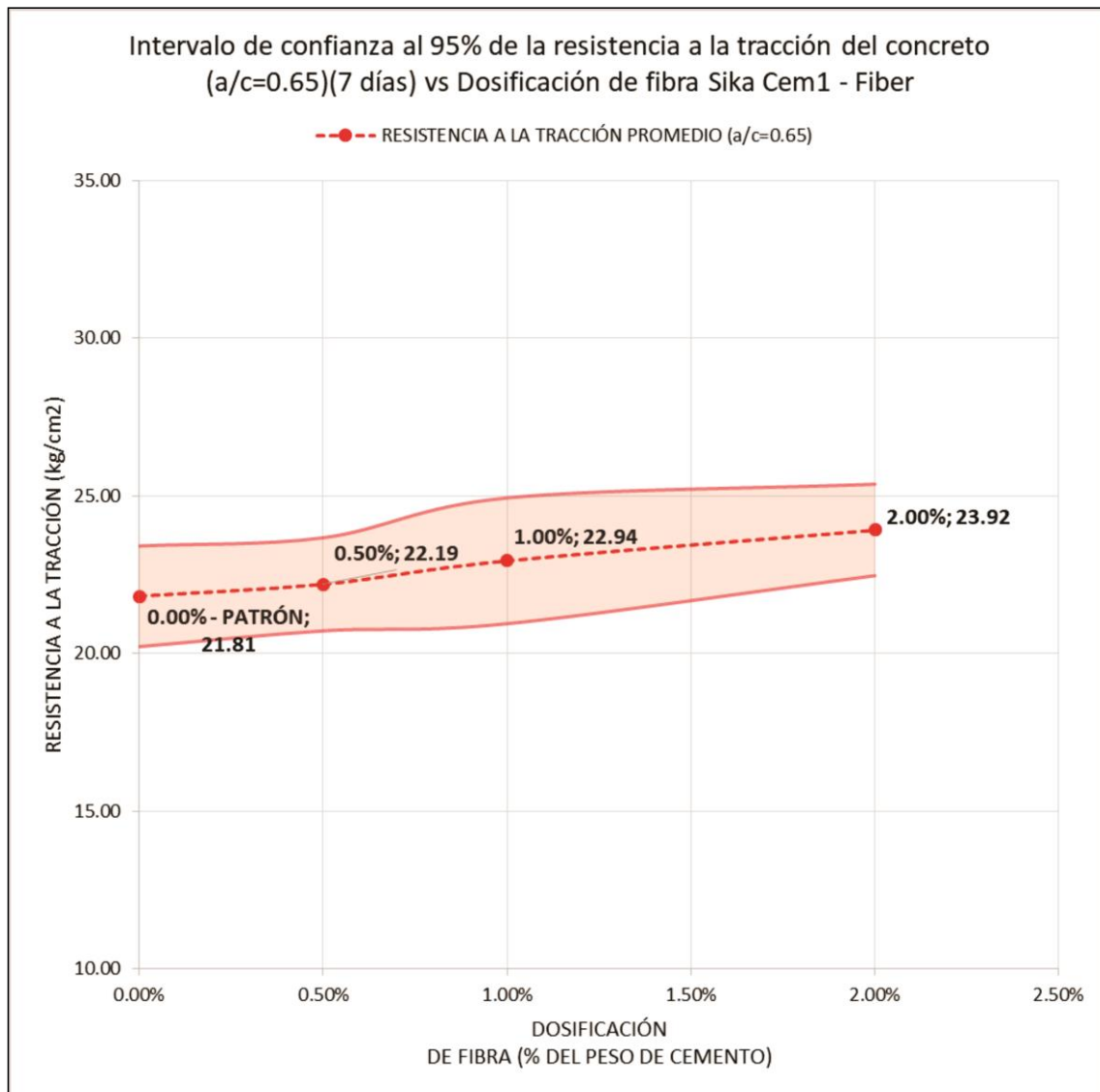


Figura VI-22: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación $a/c = 0.65$ y 7 días de curado)

Fuente: Elaboración propia

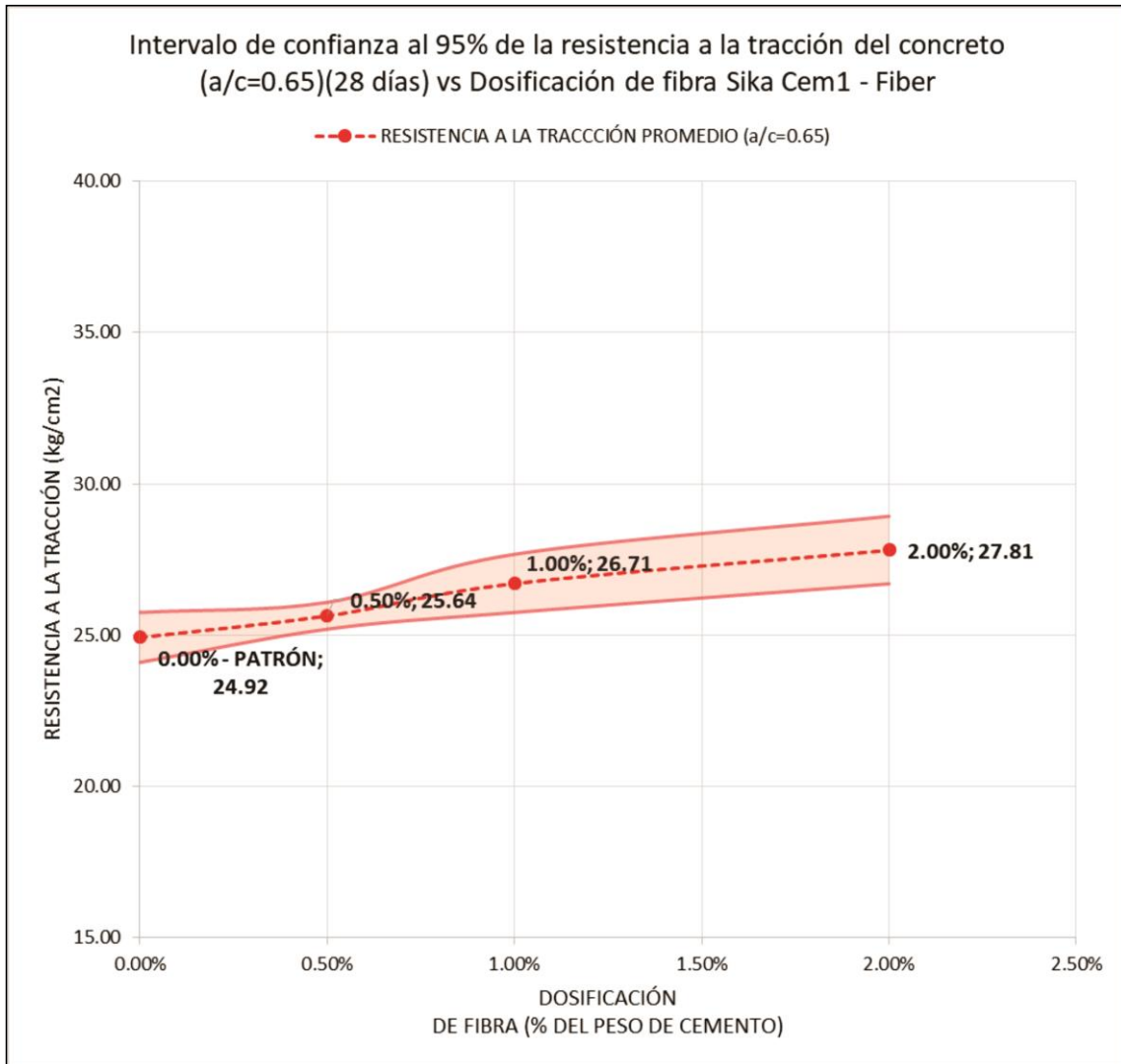


Figura VI-23: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.65 y 28 días de curado)

Fuente: Elaboración propia

De las tablas VI.51 y VI.52, se observó que el error promedio de los intervalos de confianza de las muestras con 28 días de curado es menor que el error promedio de los intervalos de confianza de las muestras con 7 días de curado:

$$\bar{E}_7 = \frac{1.60 + 1.48 + 1.99 + 1.45}{4} = 1.63$$

$$\bar{E}_{28} = \frac{0.83 + 0.44 + 0.96 + 1.12}{4} = 0.838$$

$$\bar{E}_{28} = 0.838 < \bar{E}_7 = 1.63$$

Un menor error promedio se traduce en una **mejor precisión de la región al 95% de confianza**, de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto, **en muestras con 28 días de curado**. Dicha precisión queda comprobada en las regiones sombreadas de las figuras VI-22 y VI-23, resultando por simple inspección visual que el área de la región de confianza en muestras con 28 días de curado es menor que el área de la región de confianza en muestras con 7 días de curado.

6.2.2.2.3. INTERVALOS AL 95% DE CONFIANZA DE LA MEDIA POBLACIONAL DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN MUESTRAS CON RELACIÓN ($a/c = 0.70$)

Se calcularon los intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto. En muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación $a/c = 0.70$ a los 7 y 28 días de curado.

Tabla VI.53: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.70 a los 7 días de curado)

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la compresión de la muestra T'_{cp} (Kg/cm ²)	Desviación típica de la muestra S_t (Kg/cm ²)	Coefficiente de variación (CV%)	Número de elementos de la muestra (n)	Nivel de confianza (100%)	Número de grados de libertad (n-1)	Estadístico T-de Student (t0)	Error(E) (Kg/cm ²)	Limite inferior de intervalo de confianza (Kg/cm ²)	Limite superior de intervalo de confianza (Kg/cm ²)	Intervalo al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto
7	0.70	0.00% - PATRÓN	P9	16.96	0.62	3.66%	3.00	95.00%	2.00	4.303	1.54	15.42	18.50	15.42 ≤ μ9 ≤ 18.50
		0.50%	P10	17.92	0.73	4.08%	3.00	95.00%	2.00	4.303	1.82	16.11	19.74	16.11 ≤ μ10 ≤ 19.74
		1.00%	P11	19.26	0.73	3.78%	3.00	95.00%	2.00	4.303	1.81	17.45	21.07	17.45 ≤ μ11 ≤ 21.07
		2.00%	P12	20.30	0.74	3.66%	3.00	95.00%	2.00	4.303	1.84	18.46	22.14	18.46 ≤ μ12 ≤ 22.14

Fuente: Elaboración propia

Tabla VI.54: Intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.70 a los 28 días de curado)

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Resistencia a la compresión promedio de la muestra T_{cp} (Kg/cm^2)	Desviación típica de la muestra S_t (Kg/cm^2)	Coefficiente de variación (CV%)	Número de elementos de la muestra (n)	Nivel de confianza (100%)	Número de grados de libertad (n-1)	Estadístico T-de Student (t_0)	Error(E) (Kg/cm^2)	Limite inferior de intervalo de confianza (Kg/cm^2)	Limite superior de intervalo de confianza (Kg/cm^2)	Intervalo al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto
28	0.70	0.00%	P9	19.62	0.76	3.85%	6.00	95.00%	5.00	2.571	0.79	18.83	20.42	$18.83 \leq \mu_9 \leq 20.42$
		0.50%	P10	20.50	0.56	2.73%	6.00	95.00%	5.00	2.571	0.59	19.92	21.09	$19.92 \leq \mu_{10} \leq 21.09$
		1.00%	P11	22.67	0.86	3.77%	6.00	95.00%	5.00	2.571	0.90	21.78	23.57	$21.78 \leq \mu_{11} \leq 23.57$
		1.00%	P12	23.35	0.74	3.16%	6.00	95.00%	5.00	2.571	0.78	22.58	24.13	$22.58 \leq \mu_{12} \leq 24.13$

Fuente: Elaboración propia

A partir de las tablas VI.53 y VI.54 se construyeron las figuras VI-24 y VI-25 de los intervalos de confianza al 95% de la media poblacional de la resistencia a la tracción (del concreto patrón y fibrorreforzado con relación $a/c = 0.70$) a los 7 y 28 días de curado respectivamente.

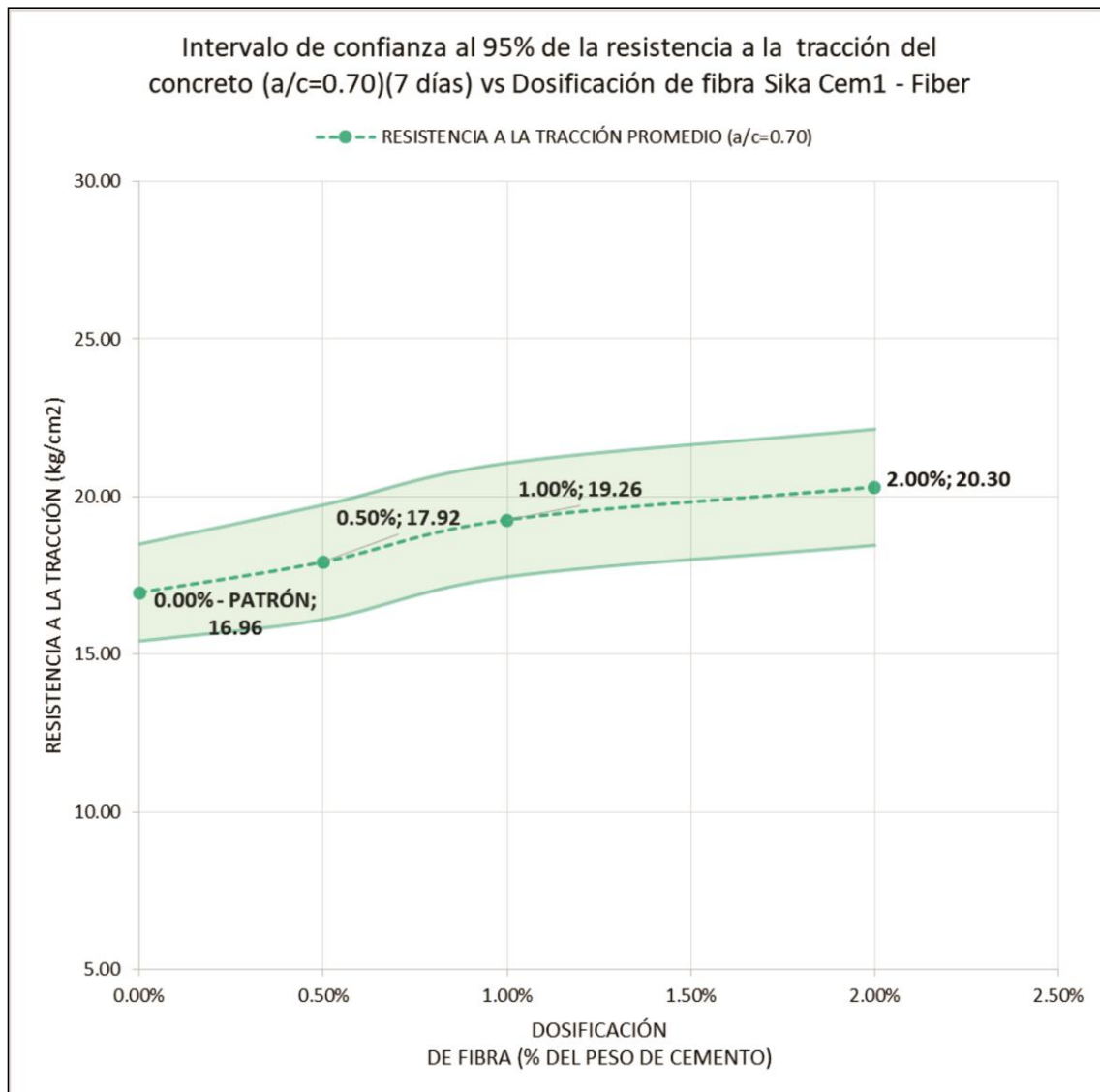


Figura VI-24: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación $a/c = 0.70$ y 7 días de curado)

Fuente: Elaboración propia

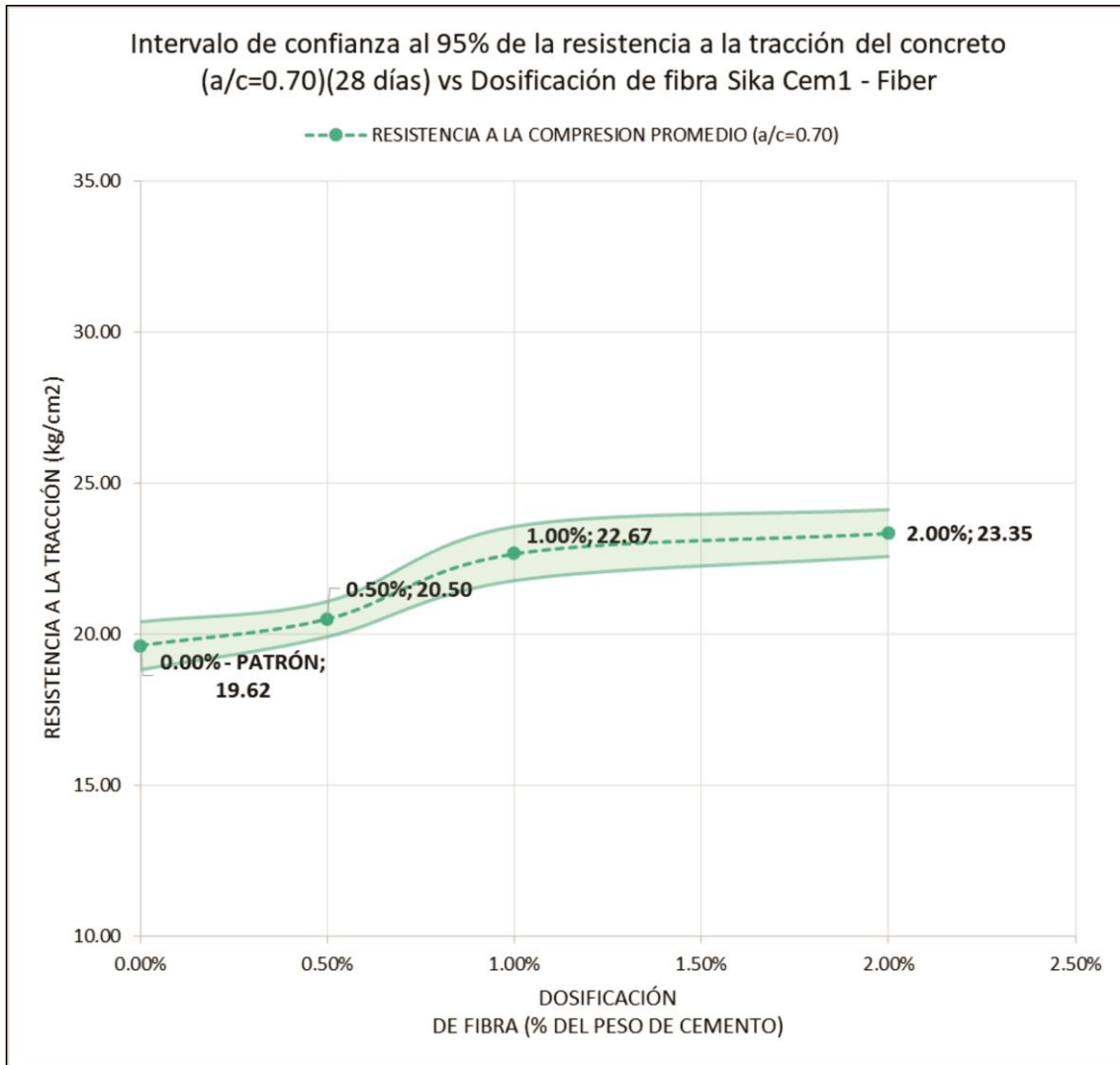


Figura VI-25: Región al 95% de confianza, de la media poblacional de la resistencia a la tracción (en muestras de concreto patrón y fibrorreforzado con relación a/c = 0.70 y 28 días de curado)

Fuente: Elaboración propia

De las tablas VI.53 y VI.54, se observó que el error promedio de los intervalos de confianza de las muestras con 28 días de curado es menor que el error promedio de los intervalos de confianza de las muestras con 7 días de curado:

$$\bar{E}_7 = \frac{1.54 + 1.82 + 1.81 + 1.84}{4} = 1.753$$

$$\bar{E}_{28} = \frac{0.79 + 0.59 + 0.90 + 0.78}{4} = 0.765$$

$$\bar{E}_{28} = 0.765 < \bar{E}_7 = 1.753$$

Un menor error promedio se traduce en una **mejor precisión de la región al 95% de confianza**, de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto, **en muestras con 28 días de curado**. Dicha precisión queda comprobada en las regiones sombreadas de las figuras VI-24 y VI-25, resultando por simple inspección visual que el área de la región de confianza en muestras con 28 días de curado es menor que el área de la región de confianza en muestras con 7 días de curado.

OBSERVACIÓN ESTADÍSTICA:

De lo expuesto se observa (al igual que en 6.2.1. Análisis de resultados del ensayo de resistencia a la compresión) que un mayor número de elementos de muestras de concreto para el ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral, mejoraran la precisión de los intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto, de aquí la importancia de la elección de un número adecuado de muestras.

6.2.2.3. ANÁLISIS CUALITATIVO DE FALLA EN MUESTRAS ENSAYADAS A TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

Se realizó el análisis cualitativo de las fallas en probetas (del ensayo de tracción indirecta) en muestras con 28 días de curado, dado que estas desarrollaron la resistencia máxima por cada relación a/c, posibilitando un estudio adecuado de sus fallas. Para el análisis de fallas se estudiaron las siguientes características:

- ✓ **Grietas principales:**
Grietas asociadas a los planos diametrales de falla, que atraviesan el diámetro y longitud de la probeta.

- ✓ **Grietas secundarias:**
Grietas superficiales en la probeta, que no están asociados a un plano diametral de falla.

- ✓ **Plano diametral de falla:**
Plano de falla que atraviesa a la probeta en su diámetro y longitud.

- ✓ **Zona de aplastamiento:**
Zona de achatamiento diametral en el área central de compresión, durante el ensayo de tracción indirecta.

- ✓ **Integridad de la muestra en la etapa final del ensayo:**
Evaluación de la condición física final, en el estado de falla de la probeta.

6.2.2.3.1. FALLAS EN PROBETAS CON RELACIÓN ($a/c = 0.60$)

6.2.2.3.1.1. FALLAS EN PROBETAS PATRÓN (FIBRA AL 0.00% DEL PESO DE CEMENTO)($a/c=0.60$)

Se muestran las fallas presentadas (del ensayo de tracción indirecta) en probetas patrón con relación ($a/c = 0.60$), con 28 días de curado.



Figura VI-26: Fallas en probetas patrón con relación ($a/c = 0.60$), con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).

Fuente: Elaboración propia

De la Figura VI-26, se observó que las probetas de concreto patrón con relación ($a/c=0.60$) durante el ensayo de tracción por compresión diametral presentaron:

- ✓ La formación de una grieta principal uniforme y definida.
- ✓ La formación de grietas secundarias escasas.
- ✓ La formación de un plano diametral de falla definido en la zona de tracción máxima.
- ✓ División de la probeta en instancias finales del ensayo.

6.2.2.3.1.2. FALLAS EN PROBETAS FIBRORREFORZADAS AL 0.50% DEL PESO DE CEMENTO ($a/c = 0.60$)

Se muestran las fallas presentadas (del ensayo de tracción indirecta) en probetas con relación ($a/c = 0.60$) fibrorreforzadas al 0.50%, con 28 días de curado.



Figura VI-27: Fallas en probetas con relación ($a/c = 0.60$) fibrorreforzadas al 0.50%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).

Fuente: Elaboración propia

De la figura VI-27, se observa que las probetas de concreto fibrorreforzado al 0.50% con relación ($a/c=0.60$) durante el ensayo de tracción por compresión diametral presentaron:

- ✓ La formación de una grieta principal irregular ramificada.
- ✓ La formación de grietas secundarias escasas.
- ✓ La formación de un plano diametral de falla semi - regular en la zona de tracción máxima.
- ✓ División de la probeta en instancias finales del ensayo.

6.2.2.3.1.3. FALLAS EN PROBETAS FIBRORREFORZADAS AL 1.00% DEL PESO DE CEMENTO ($a/c=0.60$)

Se muestran las fallas presentadas (del ensayo de tracción indirecta) en probetas con relación ($a/c = 0.60$) fibrorreforzadas al 1.00%, con 28 días de curado.



Figura VI-28: Fallas en probetas con relación ($a/c = 0.60$) fibrorreforzadas al 1.00%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).

Fuente: Elaboración propia

De la figura VI-28, se observa que las probetas de concreto fibrorreforzado al 1.00% con relación ($a/c=0.60$) durante el ensayo de tracción por compresión diametral presentaron:

- ✓ La formación de múltiples grietas principales irregulares ramificadas.
- ✓ La formación de múltiples grietas secundarias irregulares ramificadas.
- ✓ La formación de múltiples planos diametrales de falla irregulares en la zona de tracción máxima.
- ✓ División de la probeta en instancias finales del ensayo.

6.2.2.3.1.4. FALLAS EN PROBETAS FIBRORREFORZADAS AL 2.00% DEL PESO DE CEMENTO ($a/c=0.60$)

Se muestran las fallas presentadas (del ensayo de tracción indirecta) en probetas con relación ($a/c = 0.60$) fibrorreforzadas al 2.00%, con 28 días de curado.



Figura VI-29: Fallas en probetas con relación ($a/c = 0.60$) fibrorreforzadas al 2.00%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).

Fuente: Elaboración propia

De la Figura VI-29, se observa que las probetas de concreto fibrorreforzado al 2.00% con relación ($a/c=0.60$) durante el ensayo de tracción por compresión diametral presentaron:

- ✓ La formación de múltiples grietas principales irregulares ramificadas.
- ✓ La formación de múltiples grietas secundarias irregulares ramificadas.
- ✓ La formación de múltiples planos diametrales de falla irregulares en la zona de tracción máxima.
- ✓ La formación de una zona de aplastamiento central.
- ✓ No presenta división de la probeta en instancias finales del ensayo.

En resumen de 6.2.2.3.1.1, 6.2.2.3.1.2, 6.2.2.3.1.3, 6.2.2.3.1.4 se tiene:

Tabla VI.55: Tabla resumen de caracterización de fallas (en probetas ensayadas a tracción indirecta) en muestras con relación $a/c=0.60$.

				CARACTERÍSTICAS ESTUDIADAS EN LA FALLA DE PROBETAS (ENSAYO DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL)				
Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Grietas principales	Grietas secundarias	Plano diametral de falla	Zona de aplastamiento	Integridad de la muestra en instancias finales del ensayo
28	0.60	0.00% - PATRÓN	P1	Única, uniforme y definida	Escasas, alrededor de las grieta principal	Único y definido, en la zona de tracción máxima	No presenta	División de la probeta
		0.50%	P2	Única, irregular y ramificada	Escasas, alrededor de las grieta principal	Único y semi-regular, en la zona de tracción máxima	No presenta	División de la probeta
		1.00%	P3	Múltiples, irregulares y ramificadas	Múltiples, irregulares y ramificadas	Múltiples e irregulares, en la zona de tracción máxima	No presenta	División de la probeta
		2.00%	P4	Múltiples, irregulares y ramificadas	Múltiples, irregulares y ramificadas	Múltiples e irregulares, en la zona de tracción máxima	Presenta zona de aplastamiento central	No presenta división de la probeta

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla VI.55, para muestras de concreto con relación $a/c = 0.60$ se observó:

- ✓ A mayores dosificaciones de fibra sintética (entre el 0.00% - 2.00% del peso de cemento), se produjo un incremento en el número de grietas principales, tornándose irregulares y ramificadas.

- ✓ A mayores dosificaciones de fibra sintética (entre el 0.00% - 2.00% del peso de cemento), se produjo un incremento en el número de grietas secundarias, tornándose irregulares y ramificadas.
- ✓ A mayores dosificaciones de fibra sintética (entre el 0.00% - 2.00% del peso de cemento), se produjo un incremento en el número de planos diametrales de falla, tornándose irregulares.
- ✓ Con la máxima dosificación de fibra sintética (2.00% del peso de cemento), se observó la formación de una zona de aplastamiento central, donde se produce un achatamiento del diámetro de la probeta.
- ✓ A pesar del achatamiento del diámetro de probeta durante el ensayo de tracción indirecta en concretos fibrorreforzados al 2.00%, **no se produjo división de la misma**, manteniendo su integridad al final del ensayo, presentado escaso desprendimiento de material y evidenciando propiedades dúctiles en el concreto fibrorreforzado.

6.2.2.3.2. FALLAS EN PROBETAS CON RELACIÓN ($a/c = 0.65$)

6.2.2.3.2.1. FALLAS EN PROBETAS PATRÓN (FIBRA AL 0.00% DEL PESO DE CEMENTO)($a/c=0.65$)

Se muestran las fallas presentadas (del ensayo de tracción indirecta) en probetas con relación ($a/c = 0.65$) patrón, con 28 días de curado.



Figura VI-30: Fallas en probetas con relación ($a/c = 0.65$) patrón, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).

Fuente: Elaboración propia

De la figura VI-30, se observó que las probetas de concreto patrón con relación ($a/c=0.65$) durante el ensayo de tracción por compresión diametral presentaron:

- ✓ La formación de una grieta principal uniforme y definida.
- ✓ La formación de grietas secundarias escasas.
- ✓ La formación de un plano diametral de falla definido en la zona de tracción máxima.
- ✓ División de la probeta en instancias finales del ensayo.

6.2.2.3.2.2. FALLAS EN PROBETAS FIBRORREFORZADAS AL 0.50% DEL PESO DE CEMENTO ($a/c=0.65$)

Se muestran las fallas presentadas (del ensayo de tracción indirecta) en probetas con relación ($a/c = 0.65$) fibrorreforzadas al 0.50%, con 28 días de curado.



Figura VI-31: Fallas en probetas con relación ($a/c = 0.65$) fibrorreforzadas al 0.50%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).

Fuente: Elaboración propia

De la figura VI-31, se observa que las probetas de concreto fibrorreforzado al 0.50% con relación ($a/c=0.65$) durante el ensayo de tracción por compresión diametral presentaron:

- ✓ La formación de una grieta principal, irregular y ramificada.
- ✓ La formación de grietas secundarias escasas.
- ✓ La formación de un plano diametral de falla irregular en la zona de tracción máxima.
- ✓ División de la probeta en instancias finales del ensayo (escaso desprendimiento de material)

6.2.2.3.2.3. FALLAS EN PROBETAS FIBRORREFORZADAS AL 1.00% DEL PESO DE CEMENTO ($a/c=0.65$)

Se muestran las fallas presentadas (del ensayo de tracción indirecta) en probetas con relación ($a/c = 0.65$) fibrorreforzadas al 1.00%, con 28 días de curado.



Figura VI-32: Fallas en probetas con relación ($a/c = 0.65$) fibrorreforzadas al 1.00%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).

Fuente: Elaboración propia

De la figura VI-32, se observa que las probetas de concreto fibrorreforzado al 1.00% con relación ($a/c=0.65$) durante el ensayo de tracción por compresión diametral presentaron:

- ✓ La formación de múltiples grietas principales irregulares y ramificadas.
- ✓ La formación de escasas grietas secundarias.
- ✓ La formación de múltiples planos diametrales de falla irregulares en la zona de tracción máxima.
- ✓ No se presenta división de la probeta en instancias finales del ensayo (escaso desprendimiento de material).

6.2.2.3.2.4. FALLAS EN PROBETAS FIBRORREFORZADAS AL 2.00% DEL PESO DE CEMENTO ($a/c=0.65$)

Se muestran las fallas presentadas (del ensayo de tracción indirecta) en probetas con relación ($a/c = 0.65$) fibrorreforzadas al 2.00%, con 28 días de curado.



Figura VI-33: Fallas en probetas con relación ($a/c = 0.65$) fibrorreforzadas al 2.00%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).

Fuente: Elaboración propia

De la figura VI-33, se observa que las probetas de concreto fibrorreforzado al 2.00% con relación ($a/c=0.65$) durante el ensayo de tracción por compresión diametral presentaron:

- ✓ La formación de una grieta principal irregular.
- ✓ La formación de escasas grietas secundarias.
- ✓ La formación de un plano diametral de falla irregular en la zona de tracción máxima.
- ✓ No presenta división de la probeta en instancias finales del ensayo (no presenta desprendimiento de material).

En resumen de 6.2.2.3.2.1, 6.2.2.3.2.2, 6.2.2.3.2.3, 6.2.2.3.2.4 se tiene:

Tabla VI.56: Tabla resumen de caracterización de fallas (en probetas ensayadas a tracción indirecta) en muestras con relación $a/c=0.65$.

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	CARACTERÍSTICAS ESTUDIADAS EN LA FALLA DE PROBETAS (ENSAYO DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL)				
				Grietas principales	Grietas secundarias	Plano diametral de falla	Zona de aplastamiento	Integridad de la muestra en instancias finales del ensayo
28	0.65	0.00% - PATRÓN	P5	Única, uniforme y definida	Escasas, alrededor de la grieta principal	Único y definido, en la zona de tracción máxima	No presenta	División de la probeta
		0.50%	P6	Única, irregular y ramificada	Escasas y de gran tamaño, paralelas a la grieta principal	Único e irregular, en la zona de tracción máxima	No presenta	División de la probeta
		1.00%	P7	Múltiples, irregulares y ramificadas	Escasas, alrededor de las grietas principales	Múltiples e irregulares, en la zona de tracción máxima	No presenta	No presenta división de la probeta
		2.00%	P8	Única e irregular	Escasas, alrededor de la grieta principal	Único e irregular, en la zona de tracción máxima	No presenta	No presenta división de la probeta

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla VI.56, para muestras de concreto con relación $a/c = 0.65$, se observó:

- ✓ A mayores dosificaciones de fibra sintética (entre el 0.00% - 1.00% del peso de cemento), se produjo un incremento en el número de grietas principales, tornándose irregulares y ramificadas; sin embargo llegados a la dosificación de fibra del 2.00% (del peso de cemento) se produjo un efecto inverso reduciéndose el número de grietas principales a la unidad.
- ✓ Se produjo la formación de un número de grietas secundarias escasas. Cabe resaltar que las grietas secundarias en las muestras fibrorreforzadas al 0.50%, eran de gran tamaño sin llegar a ser grietas principales ni formar planos de falla.
- ✓ A mayores dosificaciones de fibra sintética (entre el 0.00% - 1.00% del peso de cemento), se produjo un incremento en el número de planos diametrales de falla, tornándose irregulares; sin embargo llegados a la dosificación de fibra del 2.00% (del peso de cemento) se produjo un efecto inverso reduciéndose el número de planos diametrales de falla irregulares a la unidad.

- ✓ No se produjo la formación de zona de aplastamiento central.

- ✓ A dosificaciones de fibra sintética (entre el 1.00% - 2.00% del peso de cemento), **no se produjo división de la probeta en instancias finales del ensayo**, presentando escaso desprendimiento de material y evidenciando propiedades dúctiles del concreto fibrorreforzado; evidenciando propiedades dúctiles en el concreto fibrorreforzado.

6.2.2.3.3. FALLAS EN PROBETAS CON RELACIÓN ($a/c = 0.70$)

6.2.2.3.3.1. FALLAS EN PROBETAS PATRÓN (FIBRA AL 0.00% DEL PESO DE CEMENTO) ($a/c=0.70$)

Se muestran las fallas presentadas (del ensayo de tracción indirecta) en probetas con relación ($a/c = 0.70$) patrón, con 28 días de curado.



Figura VI-34: Fallas en probetas con relación ($a/c = 0.70$) patrón, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).

Fuente: Elaboración propia

De la figura VI-34, se observó que las probetas de concreto patrón con relación ($a/c=0.70$) durante el ensayo de tracción por compresión diametral presentaron:

- ✓ La formación de una grieta principal uniforme y definida.
- ✓ La formación de grietas secundarias escasas.
- ✓ La formación de un plano diametral de falla definido en la zona de tracción máxima.
- ✓ División de la probeta en instancias finales del ensayo.

6.2.2.3.3.2. FALLAS EN PROBETAS FIBRORREFORZADAS AL 0.50% DEL PESO DE CEMENTO ($a/c=0.70$)

Se muestran las fallas presentadas (del ensayo de tracción indirecta) en probetas con relación ($a/c = 0.70$) fibrorreforzadas al 0.50%, con 28 días de curado.



Figura VI-35: Fallas en probetas con relación ($a/c = 0.70$) fibrorreforzadas al 0.50%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).

Fuente: Elaboración propia

De la figura VI-35, se observa que las probetas de concreto fibrorreforzado al 0.50% con relación ($a/c=0.70$) durante el ensayo de tracción por compresión diametral presentaron:

- ✓ La formación de múltiples grietas principales irregulares y ramificadas.
- ✓ La formación de grietas secundarias escasas.
- ✓ La formación de múltiples planos diametrales de falla irregular en la zona de tracción máxima.
- ✓ No se presenta división de la probeta en instancias finales del ensayo (escaso desprendimiento de material)

6.2.2.3.3. FALLAS EN PROBETAS FIBRORREFORZADAS AL 1.00% DEL PESO DE CEMENTO ($a/c=0.70$)

Se muestran las fallas presentadas (del ensayo de tracción indirecta) en probetas con relación ($a/c = 0.70$) fibrorreforzadas al 1.00%, con 28 días de curado.



Figura VI-36: Fallas en probetas con relación ($a/c = 0.70$) fibrorreforzadas al 1.00%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).

Fuente: Elaboración propia

De la figura VI-36, se observa que las probetas de concreto fibrorreforzado al 1.00% con relación ($a/c=0.70$) durante el ensayo de tracción por compresión diametral presentaron:

- ✓ La formación de múltiples grietas principales irregulares y ramificadas.
- ✓ La formación de múltiples grietas secundarias irregulares.
- ✓ La formación de múltiples planos diametrales de falla irregulares en la zona de tracción máxima.
- ✓ No se presenta división de la probeta en instancias finales del ensayo (escaso desprendimiento de material).

6.2.2.3.3.4. FALLAS EN PROBETAS FIBRORREFORZADAS AL 2.00% DEL PESO DE CEMENTO ($a/c=0.70$)

Se muestran las fallas presentadas (del ensayo de tracción indirecta) en probetas con relación ($a/c = 0.70$) fibrorreforzadas al 2.00%, con 28 días de curado.



Figura VI-37: Fallas en probetas con relación ($a/c = 0.70$) fibrorreforzadas al 2.00%, con 28 días de curado (ensayo de tracción por compresión diametral).

Fuente: Elaboración propia

De la figura VI-37, se observa que las probetas de concreto fibrorreforzado al 2.00% con relación ($a/c=0.70$) durante el ensayo de tracción por compresión diametral presentaron:

- ✓ La formación de una grieta principal irregular.
- ✓ La formación de escasas grietas secundarias.
- ✓ La formación de un plano diametral de falla irregular en la zona de tracción máxima.
- ✓ No presenta división de la probeta en instancias finales del ensayo (no presenta desprendimiento de material).

En resumen de 6.2.2.3.3.1, 6.2.2.3.3.2, 6.2.2.3.3.3, 6.2.2.3.3.4 se tiene:

Tabla VI.57: Tabla resumen de caracterización de fallas (en probetas ensayadas a tracción indirecta) en muestras con relación $a/c=0.70$.

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	CARACTERÍSTICAS ESTUDIADAS EN LA FALLA DE PROBETAS (ENSAYO DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL)				
				Grietas principales	Grietas secundarias	Plano diametral de falla	Zona de aplastamiento	Integridad de la muestra en instancias finales del ensayo
28	0.70	0.00% - PATRÓN	P10	Única, uniforme y definida	Escasas, alrededor de las grietas principales	Único y definido, en la zona de tracción máxima	No presenta	División de la probeta
		0.50%	P11	Múltiples, irregulares y ramificadas	Escasas, paralelas a las grietas principales	Múltiples e irregulares, en la zona de tracción máxima	No presenta	No presenta división de la probeta
		1.00%	P12	Múltiples, irregulares y ramificadas	Escasas, alrededor de las grietas principales	Múltiples e irregulares, en la zona de tracción máxima	No presenta	No presenta división de la probeta
		2.00%	P13	Única e irregular	Escasas, paralelas a las grietas principales	Único e irregular, en la zona de tracción máxima	No presenta	No presenta división de la probeta, ni desprendimiento de material

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla VI.57, para muestras de concreto con relación $a/c = 0.70$, se observó:

- ✓ A mayores dosificaciones de fibra sintética (entre el 0.00% - 1.00% del peso de cemento), se produjo un incremento en el número de grietas principales, tornándose irregulares y ramificadas; sin embargo llegados a la dosificación de fibra del 2.00% (del peso de cemento) se produjo un efecto inverso reduciéndose el número de grietas principales a la unidad.
- ✓ Se produjo la formación de un número de grietas secundarias escasas.

- ✓ A mayores dosificaciones de fibra sintética (entre el 0.00% - 1.00% del peso de cemento), se produjo un incremento en el número de planos diametrales de falla, tornándose irregulares; sin embargo llegados a la dosificación de fibra del 2.00% (del peso de cemento) se produjo un efecto inverso reduciéndose el número de planos diametrales de falla irregulares a la unidad.

- ✓ No se produjo la formación de zona de aplastamiento central.

- ✓ A dosificaciones de fibra sintética (entre el 0.50% - 2.00% del peso de cemento), **no se produjo división de la probeta en instancias finales del ensayo**, presentando escaso desprendimiento de material en las fibrorreforzadas al (0.50% - 1.00%) y desprendimiento nulo en las fibrorreforzadas al 2.00% del peso de cemento; evidenciando propiedades dúctiles en el concreto fibrorreforzado.

6.2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ROTURA (ASTM C239/C239M-10)

Como paso previo a realizar el análisis detallado de los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión del concreto, se verifico la validez de los mismos, comparando el coeficiente de variación del módulo de rotura de cada muestra con el coeficiente de variación máximo referencial, suscrito en la ASTM C239/C239M-10 donde se especifica que el coeficiente de variación depende esencialmente de la resistencia de las vigas y si los ensayos fueron realizados en uno o múltiples laboratorios. El coeficiente de variación referencial según la norma ASTM C239/C239M-10 para un solo operador en un mismo laboratorio es del 4.40%.

Tabla VI.58: Verificación de la validez de los resultados del ensayo de resistencia a la flexión de las muestras de concreto con 28 días de curado.

Número de días de curado	a/c	Fibra(%)	ITEM	Modulo de rotura promedio de la muestra Mrp (Kg/cm ²)	Desviación estándar de la muestra of (Kg/cm ²)	Coeficiente de variación (CV%)	Coeficiente de variación maximo permisible (CV% ^{máx})	CONDICIÓN DE LA MUESTRA
28	0.60	0.00% - PATRÓN	v1	64.40	1.73	2.69%	4.40%	ACEPTADA
		0.50%	v2	65.66	1.44	2.19%	4.40%	ACEPTADA
		1.00%	v3	65.77	2.13	3.24%	4.40%	ACEPTADA
		2.00%	v4	65.13	2.40	3.68%	4.40%	ACEPTADA
	0.65	0.00% - PATRÓN	v5	53.30	1.85	3.48%	4.40%	ACEPTADA
		0.50%	v6	54.24	0.86	1.59%	4.40%	ACEPTADA
		1.00%	v7	54.35	1.66	3.05%	4.40%	ACEPTADA
		2.00%	v8	53.40	2.07	3.88%	4.40%	ACEPTADA
	0.70	0.00% - PATRÓN	v9	44.62	1.74	3.91%	4.40%	ACEPTADA
		0.50%	v10	44.87	1.57	3.49%	4.40%	ACEPTADA
		1.00%	v11	46.54	2.04	4.39%	4.40%	ACEPTADA
		1.00%	v12	44.76	1.34	3.00%	4.40%	ACEPTADA

Fuente: Elaboración propia.

Se observó que la totalidad de las muestras ensayadas a flexión presentaron coeficientes de variación inferiores al máximo permisible de 4.40%, por lo cual se aceptó la validez de los resultados obtenidos para su posterior análisis.

6.2.3.1. ANÁLISIS DEL MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO

Con los módulos de rotura promedio (resistencia a la flexión) suscritas en el CAPITULO V - 5.2.3; se elaboró la tabla VI.59, como resumen de los resultados del ensayo de módulo de rotura (con carga en el centro de luz) en vigas de concreto con 28 días de curado.

Tabla VI.59: Resumen de resultados de módulo de rotura (resistencia a la flexión) promedio (en muestras de concreto con 28 días de curado).

a/c	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO - 28 DÍAS (Kg/cm ²)			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	64.40	65.66	65.77	65.13
0.65	53.30	54.24	54.35	53.40
0.70	44.62	44.87	46.54	44.76

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla VI.59, se construyó la tabla VI.60, como una correspondencia de cada valor de módulo de rotura respecto al módulo de rotura de su concreto patrón (según su relación a/c), expresado en porcentaje.

Tabla VI.60: Módulo de rotura promedio (%) en función del módulo de rotura promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 28 días de curado).

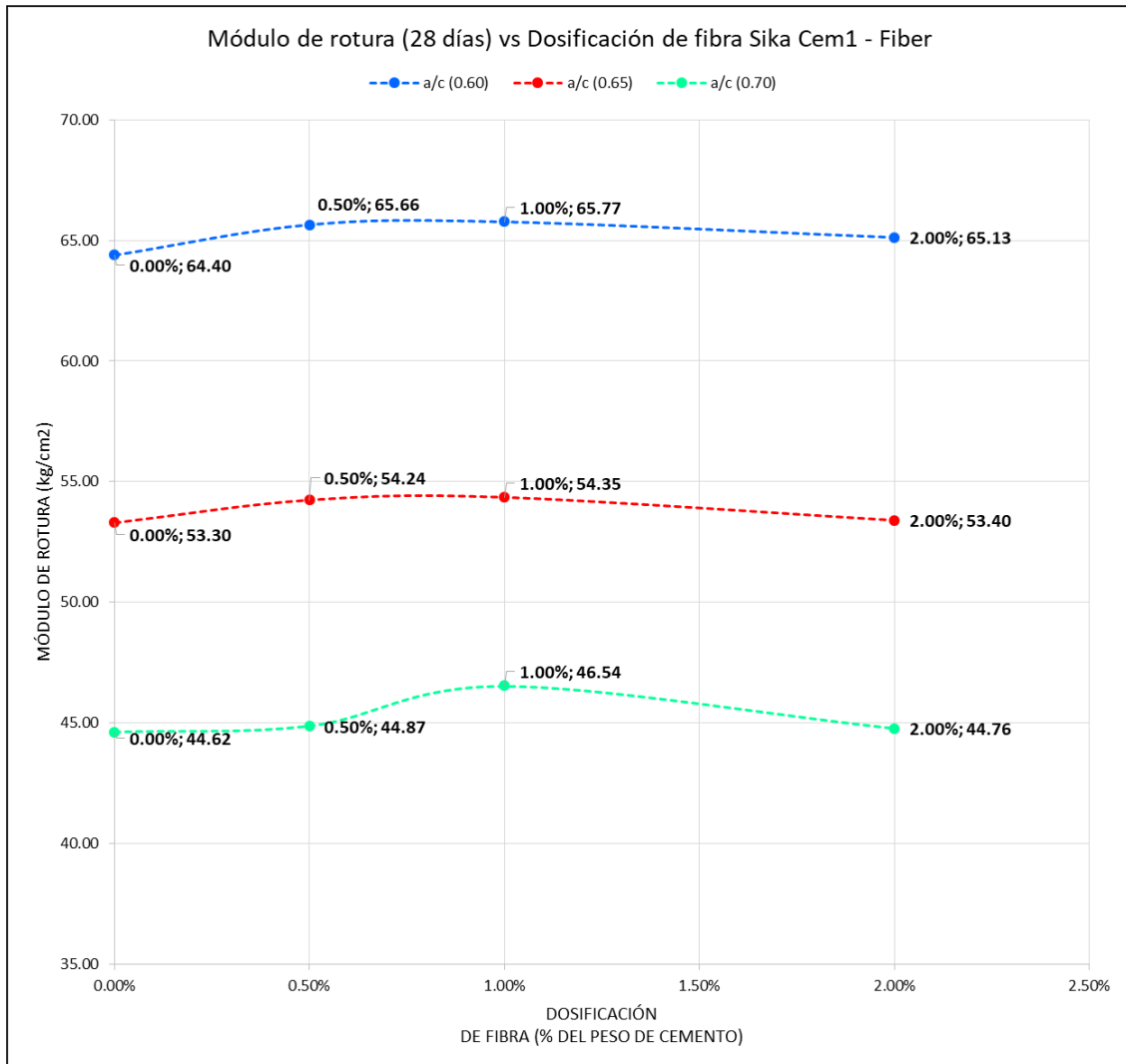
a/c	MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO (%) EN FUNCIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO DEL CONCRETO PATRÓN - 28 DÍAS			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	100.00%	101.95%	102.14%	101.14%
0.65	100.00%	101.77%	101.98%	100.20%
0.70	100.00%	100.57%	104.31%	100.33%

Nota: Los concretos patrones tienen un módulo de rotura promedio (%) del 100.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

Para cada relación (a/c), de la tabla VI.59, se graficaron los resultados de Modulo de rotura (resistencia a la flexión) promedio vs dosificación de fibra sintética (en % del peso del cemento).

Figura VI-38: Módulo de rotura promedio (28 días) (Kg/cm²) vs Dosificación de fibra (%) – (a/c= 0.60, 0.65, 0.70)



Fuente: Elaboración propia.

De la figura VI-38, se observa que:

- ✓ Cada incremento en la dosificación de fibra sintética genera un incremento insignificante (despreciable) en el módulo de rotura del concreto fibrorreforzado con respecto al módulo de rotura del concreto patrón (a los 28 días de curado), en conclusión el refuerzo de fibra sintética no genera variación significativa sobre el módulo

de rotura del concreto, dichos incrementos despreciables quedan expresados cuantitativa y porcentualmente en la tabla VI.61.

Tabla VI.61: Incremento del módulo de rotura (resistencia a la flexión) promedio (%) en función del módulo de rotura promedio del concreto patrón (en muestras de concreto con 28 días de curado).

a/c	INCREMENTO DEL MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO (%) EN FUNCIÓN DE LA MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO DEL CONCRETO PATRÓN - 28 DÍAS			
	DOSIFICACIÓN DE FIBRA (%)			
	PATRÓN	0.50%	1.00%	2.00%
0.60	0.00%	1.95%	2.14%	1.14%
0.65	0.00%	1.77%	1.98%	0.20%
0.70	0.00%	0.57%	4.31%	0.33%

Nota: Los concretos patrones tienen un incremento del módulo de rotura promedio (%) del 0.00% como punto de partida.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla VI.61, para muestras de concreto con relación a/c = (0.60, 0.65, 0.70) y 28 días de curado, se observó:

- ✓ Las vigas de concreto fibrorreforzadas al 0.50% del peso del cemento, presentaron un incremento del módulo de rotura promedio de: Entre 0.57 a 1.95 % con respecto al módulo de rotura promedio del concreto patrón.
- ✓ Las vigas de concreto fibrorreforzadas al 1.00% del peso del cemento, presentaron un incremento del módulo de rotura promedio de: Entre 1.98 a 4.31 % con respecto al módulo de rotura promedio del concreto patrón.
- ✓ Las vigas de concreto fibrorreforzadas al 2.00% del peso del cemento, presentaron un incremento del módulo de rotura promedio de: Entre 0.20 a 1.14 % con respecto al módulo de rotura promedio del concreto patrón.

- ✓ Las vigas de concreto fibrorreforzado registraron incrementos (%) despreciables del módulo de rotura con respecto a las vigas patrón. En conclusión el impacto del refuerzo de fibra sintética sobre la resistencia a la flexión del concreto es despreciable, posteriormente se realizó una prueba de hipótesis de esta aseveración.

6.2.3.2. PRUEBA DE HIPOTESIS DE LA CONSTANCIA DEL MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO ENTRE LAS MUESTRAS DE CONCRETO PATRON Y FIBRORREFORZADO

En 6.2.3.1 se observó que para cada relación $a/c = (0.65, 0.60, 0.70)$ el módulo de rotura de las vigas de concreto patrón y fibrorreforzadas se mantuvo aproximadamente constante a pesar de los incrementos graduales de dosificación de fibra sintética. Se realizó una prueba estadística de hipótesis (para cada relación a/c), llamada prueba de diferencia pareada entre los módulos de rotura de las muestras patrón y fibrorreforzadas al 1.00% (dado que estas últimas registraron los máximos incrementos (%) del módulo de rotura según la tabla VI.61), **con el fin de verificar si el módulo de rotura se mantiene constante entre las vigas de concreto patrón y fibrorreforzado, a pesar del refuerzo de fibra sintética.**

Dado que las 2 muestras a estudiar se aproximan a la normal, por el teorema central del límite, la diferencia de estas presenta una distribución aproximada a la normal; además por tratarse de muestras pequeñas con menos de 30 elementos ($n < 30$), media muestral (de las diferencias de los módulo de rotura) \overline{Dmr} y desviación típica muestral (de las diferencias de los módulo de rotura) S_{Dmr} , para poblaciones aproximadas a la normal, la variable aleatoria:

$$T = \frac{\overline{Dmr}\sqrt{n}}{S_{Dmr}}$$

Presenta una distribución T- de Student con (n-1) grados de libertad. Por lo cual se debe probar una media μ_{Dmr} poblacional hipotética de la diferencia. Se siguió un procedimiento similar al expuesto en 6.2.1.2:

- ✓ Se plantearon las hipótesis:

$H_0: \mu_D = 0$. Los módulos de rotura de las muestras relacionadas (patrón y fibrorreforzada al 1.00%) son iguales a pesar del refuerzo de fibra sintética.

$$H_1: \mu_D < 0, \mu_D \neq 0, \mu_D > 0$$

- ✓ Se escogió el nivel de significancia α

- ✓ El estadístico de prueba es $T = \frac{\overline{Dmr}\sqrt{n}}{S_{Dmr}}$, una distribución T-de Student, con (n-1) grados de libertad.

- ✓ Se calculó la región de rechazo o región crítica (Ver figura VI-10: Región de rechazo de la distribución de probabilidad T – de Student)

Se tiene:

$$P\left(T < -t_{\frac{\alpha}{2}} \vee T > t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = \alpha$$

$$2 \times P\left(T > t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = \alpha$$

$$P\left(T > t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = \frac{\alpha}{2}$$

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

De la expresión anterior y la tabla VI.25, se calcula $t_{\frac{\alpha}{2}}$, y la región de rechazo o región crítica será R.C: $T < -t_{\frac{\alpha}{2}} \vee T > t_{\frac{\alpha}{2}}$

- ✓ Se calcularon la media muestral \overline{Dmr} y desviación típica muestral S_{Dmr} (de las diferencias de los módulos de rotura de las muestras en comparación) y el estadístico de prueba $T = \frac{\overline{Dmr}\sqrt{n}}{S_{Dmr}}$.

✓ Se verifica:

$T \in R. C$, entonces H_0 se rechaza

$T \notin R. C$, entonces H_0 se acepta y se verifica que los módulos de rotura de las muestras relacionadas (patrón y fibrorreforzada al 1.00%) son iguales a pesar del refuerzo de fibra sintética.

Se realizó la prueba de hipótesis en las muestras con 28 días de curado, cuyo módulo de rotura final está definido.

6.2.3.2.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE LA CONSTANCIA DEL MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO ENTRE LAS MUESTRAS DE CONCRETO PATRÓN Y FIBRORREFORZADO EN VIGAS CON RELACIÓN (a/c= 0.60) Y 28 DÍAS DE CURADO.

Se presentan los datos de módulo de rotura obtenidos de ensayar muestras con relación a/c=0.60, patrón y fibrorreforzadas al 1.00%.

Tabla VI.62: Datos de módulo de rotura (muestras con relación a/c=0.60, patrón y fibrorreforzadas al 1.00%)

N° Muestra	MODULO DE ROTURA (Kg/cm ²)	
	a/c = 0.60 Fibra al 1.00%	a/c = 0.60 Patrón
1	64.27	63.17
2	67.28	65.62

Fuente: Elaboración propia.

I. Se plantearon las hipótesis:

$H_0: \mu_D = 0$. Los módulos de rotura de las muestras relacionadas con relación a/c=0.60 (patrón y fibrorreforzada al 1.00%) son iguales a pesar del refuerzo de fibra sintética.

$$H_1: \mu_D < 0, \mu_D \neq 0, \mu_D > 0$$

II. El nivel de significancia es de $\alpha = 0.05$

III. El estadístico de prueba es $T = \frac{\overline{Dmr}\sqrt{n}}{S_{Dmr}}$, una distribución T- de Student, con 1 grados de libertad.

IV. Cálculo de la región de rechazo o región crítica.

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \frac{0.05}{2}$$

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 0.975$$

De la expresión anterior y la tabla VI.25 con 1 grado de libertad se calcula $t_{\frac{\alpha}{2}}$.

$$t_{\frac{\alpha}{2}} = 12.706$$

La región crítica será:

$$T < -12.706 \vee T > 12.706$$

$$T \in < -\infty, -12.706 > \cup < 12.706, +\infty >$$

$$R.C. = < -\infty, -12.706 > \cup < 12.706, +\infty >$$

V. Cálculo de \overline{Dmr} , S_{Dmr} y $T = \frac{\overline{Dmr}\sqrt{n}}{S_{Dmr}}$.

De la tabla VI.62, se construyó la tabla VI.63.

Tabla VI.63: Datos para el cálculo de \overline{Dmr} , S_{Dmr} y $T = \frac{\overline{Dmr}\sqrt{n}}{S_{Dmr}}$ (muestras con relación a/c=0.60, patrón y fibrorreforzadas al 1.00%)

N° Muestra	MODULO DE ROTURA (Kg/cm ²)		DIFERENCIA (Kg/cm ²)	
	a/c = 0.60 Fibra al 1.00%	a/c = 0.60 Patrón	Di	(Di) ²
1	64.27	63.17	1.10	1.20
2	67.28	65.62	1.66	2.76
SUMATORIA TOTAL			2.76	3.97

Fuente: Elaboración propia.

$$\overline{Dmr} = \frac{\sum_{i=1}^{i=2} D_i}{2} = \frac{2.76}{2} = 1.38$$

$$S_{Dmr} = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^{i=2} (D_i)^2 - (\sum_{i=1}^{i=2} D_i)^2}{n(n-1)}}$$

$$S_{Dmr} = \sqrt{\frac{2 \times 3.97 - (2.76)^2}{2 \times 1}} = 0.40$$

$$T = \frac{1.38 \times \sqrt{2}}{0.40} = 4.88$$

VI. Se verifica:

$$T = 4.88 \notin R.C. = < -\infty, -12.706 > \cup < 12.706, +\infty > ,$$

entonces H_0 se acepta y se verifica que los módulos de rotura de las muestras de concreto con relación $a/c=0.60$ (patrón y fibrorreforzada al 1.00%) son iguales a pesar del refuerzo de fibra sintética.

6.2.3.2.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE LA CONSTANCIA DEL MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO ENTRE LAS MUESTRAS DE CONCRETO PATRÓN Y FIBRORREFORZADO EN VIGAS CON RELACIÓN (a/c= 0.65) Y 28 DÍAS DE CURADO.

Se presentan los datos de módulo de rotura obtenidos de ensayar muestras con relación a/c=0.65, patrón y fibrorreforzadas al 1.00%.

Tabla VI.64: Datos de módulo de rotura (muestras con relación a/c=0.65, patrón y fibrorreforzadas al 1.00%)

N° Muestra	MODULO DE ROTURA (Kg/cm ²)	
	a/c = 0.65 Fibra al 1.00%	a/c = 0.65 Patrón
1	55.53	54.61
2	53.18	51.99

Fuente: Elaboración propia.

I. Se plantearon las hipótesis:

$H_0: \mu_D = 0$. Los módulos de rotura de las muestras relacionadas con relación a/c=0.65 (patrón y fibrorreforzada al 1.00%) son iguales a pesar del refuerzo de fibra sintética.

$$H_1: \mu_D < 0, \mu_D \neq 0, \mu_D > 0$$

II. El nivel de significancia es de $\alpha = 0.05$

III. El estadístico de prueba es $T = \frac{\overline{Dmr}\sqrt{n}}{S_{Dmr}}$, una distribución T- de Student, con 1 grado de libertad.

IV. Cálculo de la región de rechazo o región crítica.

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \frac{0.05}{2}$$

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 0.975$$

De la expresión anterior y la tabla VI.25 con 1 grado de libertad se calcula $t_{\frac{\alpha}{2}}$.

$$t_{\frac{\alpha}{2}} = 12.706$$

La región crítica será:

$$T < -12.706 \vee T > 12.706$$

$$T \in < -\infty, -12.706 > \cup < 12.706, +\infty >$$

$$R.C. = < -\infty, -12.706 > \cup < 12.706, +\infty >$$

V. Cálculo de \overline{Dmr} , S_{Dmr} y $T = \frac{\overline{Dmr}\sqrt{n}}{S_{Dmr}}$.

De la tabla VI.64, se construyó la tabla VI.65.

Tabla VI.65: Datos para el cálculo de \overline{Dmr} , S_{Dmr} y $T = \frac{\overline{Dmr}\sqrt{n}}{S_{Dmr}}$ (muestras con relación a/c=0.65, patrón y fibrorreforzadas al 1.00%)

N° Muestra	MODULO DE ROTURA (Kg/cm ²)		DIFERENCIA (Kg/cm ²)	
	a/c = 0.65 Fibra al 1.00%	a/c = 0.65 Patrón	Di	(Di) ²
1	55.53	54.61	0.92	0.84
2	53.18	51.99	1.19	1.42
SUMATORIA TOTAL			2.11	2.26

Fuente: Elaboración propia.

$$\overline{Dmr} = \frac{\sum_{i=1}^{i=2} D_i}{2} = \frac{2.11}{2} = 1.055$$

$$S_{Dmr} = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^{i=2} (D_i)^2 - (\sum_{i=1}^{i=2} D_i)^2}{n(n-1)}}$$

$$S_{Dmr} = \sqrt{\frac{2 \times 2,26 - (2.11)^2}{2 \times 1}} = 0.19$$

$$T = \frac{1.055 \times \sqrt{2}}{0.19} = 7.71$$

VI. Se verifica:

$$T = 7.71 \notin R.C. = < -\infty, -12.706 > \cup < 12.706, +\infty > ,$$

entonces H_0 se acepta y se verifica que los módulos de rotura de las muestras de concreto con relación $a/c=0.65$ (patrón y fibrorreforzada al 1.00%) son iguales a pesar del refuerzo de fibra sintética.

6.2.3.2.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS DE LA CONSTANCIA DEL MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO ENTRE LAS MUESTRAS DE CONCRETO PATRÓN Y FIBRORREFORZADO EN VIGAS CON RELACIÓN (a/c= 0.70) Y 28 DÍAS DE CURADO.

Se presentan los datos de módulo de rotura obtenidos de ensayar muestras con relación a/c=0.70, patrón y fibrorreforzadas al 1.00%.

Tabla VI.66: Datos de módulo de rotura (muestras con relación a/c=0.70, patrón y fibrorreforzadas al 1.00%)

N° Muestra	MODULO DE ROTURA (Kg/cm ²)	
	a/c = 0.70 Fibra al 1.00%	a/c = 0.70 Patrón
1	47.98	45.85
2	45.09	43.38

Fuente: Elaboración propia.

I. Se plantearon las hipótesis:

$H_0: \mu_D = 0$. Los módulos de rotura de las muestras relacionadas con relación a/c=0.70 (patrón y fibrorreforzada al 1.00%) son iguales a pesar del refuerzo de fibra sintética.

$$H_1: \mu_D < 0, \mu_D \neq 0, \mu_D > 0$$

II. El nivel de significancia es de $\alpha = 0.05$

III. El estadístico de prueba es $T = \frac{\overline{Dmr}\sqrt{n}}{S_{Dmr}}$, una distribución T- de Student, con 1 grado de libertad.

IV. Cálculo de la región de rechazo o región crítica.

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 1 - \frac{0.05}{2}$$

$$P\left(T < t_{\frac{\alpha}{2}}\right) = 0.975$$

De la expresión anterior y la tabla VI.25 con 1 grado de libertad se calcula $t_{\frac{\alpha}{2}}$.

$$t_{\frac{\alpha}{2}} = 12.706$$

La región crítica será:

$$T < -12.706 \vee T > 12.706$$

$$T \in < -\infty, -12.706 > \cup < 12.706, +\infty >$$

$$R.C. = < -\infty, -12.706 > \cup < 12.706, +\infty >$$

V. Cálculo de \overline{Dmr} , S_{Dmr} y $T = \frac{\overline{Dmr}\sqrt{n}}{S_{Dmr}}$.

De la tabla VI.66, se construyó la tabla VI.67.

Tabla VI.67: Datos para el cálculo de \overline{Dmr} , S_{Dmr} y $T = \frac{\overline{Dmr}\sqrt{n}}{S_{Dmr}}$ (muestras con relación a/c=0.70, patrón y fibrorreforzadas al 1.00%)

N° Muestra	MODULO DE ROTURA (Kg/cm ²)		DIFERENCIA (Kg/cm ²)	
	a/c = 0.70 Fibra al 1.00%	a/c = 0.70 Patrón	Di	(Di) ²
1	47.98	45.85	2.14	4.56
2	45.09	43.38	1.71	2.93
SUMATORIA TOTAL			3.85	7.49

Fuente: Elaboración propia.

$$\overline{Dmr} = \frac{\sum_{i=1}^{i=2} D_i}{2} = \frac{3.85}{2} = 1.925$$

$$S_{Dmr} = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^{i=2} (D_i)^2 - (\sum_{i=1}^{i=2} D_i)^2}{n(n-1)}}$$

$$S_{Dmr} = \sqrt{\frac{2 \times 7.49 - (3.85)^2}{2 \times 1}} = 0.30$$

$$T = \frac{1.925 \times \sqrt{2}}{0.30} = 9.06$$

VI. Se verifica:

$$T = 9.06 \notin R.C. = < -\infty, -12.706 > \cup < 12.706, +\infty > ,$$

entonces H_0 se acepta y se verifica que los módulos de rotura de las muestras de concreto con relación $a/c=0.70$ (patrón y fibrorreforzada al 1.00%) son iguales a pesar del refuerzo de fibra sintética.

OBSERVACIÓN:

De 6.2.3.2.1, 6.2.3.2.2 y 6.2.3.2.3 se prueba que el impacto del refuerzo de fibra sintética sobre el módulo de rotura (resistencia a la flexión) del concreto fibrorreforzado es despreciable, dado que el módulo de rotura de las muestras fibrorreforzadas conserva un valor constante e igual al módulo de rotura del concreto patrón, a pesar del refuerzo de fibra sintética.

6.2.3.3. ANÁLISIS CUALITATIVO DE FALLA EN VIGAS ENSAYADAS A MÓDULO DE ROTURA CON CARGA EN EL CENTRO DE LUZ

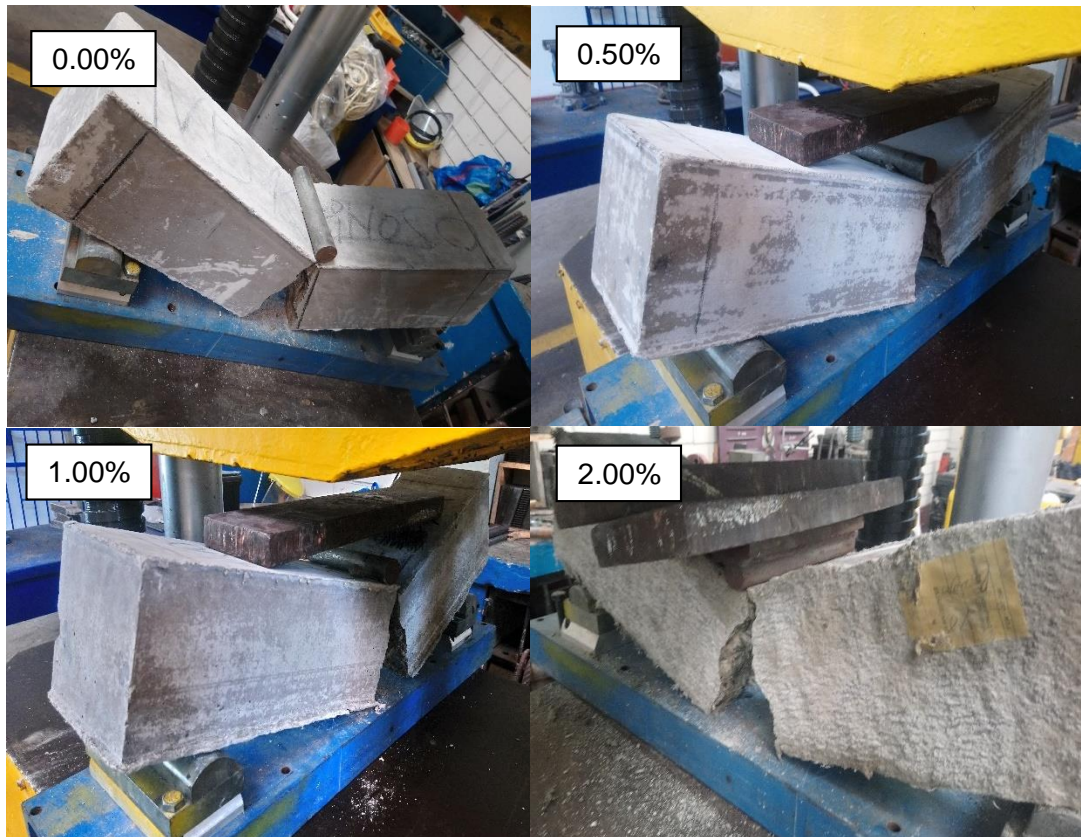
La integridad de las vigas ensayadas a módulo de rotura (con carga en el centro de luz) falló por un plano transversal de falla en el centro de la luz, dividiendo la viga en dos partes aproximadamente iguales. A continuación se muestran las vigas una vez finalizado el ensayo de módulo de rotura, como prueba de la aseveración anterior.

Figura VI-39: Vigas con relación $(a/c=0.60)$ una vez finalizado el ensayo de módulo de rotura.



Fuente: Elaboración propia.

Figura VI-40: Vigas con relación ($a/c=0.65$) una vez finalizado el ensayo de módulo de rotura.



Fuente: Elaboración propia.





Figura VI-41: Vigas con relación ($a/c=0.70$) una vez finalizado el ensayo de módulo de rotura.



Fuente: Elaboración propia.

6.2.3.3.1. ANÁLISIS CUALITATIVO DE FALLA EN VIGAS CON RELACION ($a/c=0.60$) ENSAYADAS A MODULO DE ROTURA

Tabla VI.68: Fotografías de planos transversales de falla en vigas con relación ($a/c=0.60$)





<p>Concreto patrón ($a/c=0.60$) (%Fibra = 0.00%)</p>	<p>Concreto patrón ($a/c=0.60$) (%Fibra = 0.50%)</p>
	
<p>Concreto patrón ($a/c=0.60$) (%Fibra = 1.00%)</p>	<p>Concreto patrón ($a/c=0.60$) (%Fibra = 2.00%)</p>
	

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla VI.68, se observa la formación de cúmulos de fibra formando mechass, para el concreto fibrorreforzado al 2.00%.

6.2.3.3.2. ANÁLISIS CUALITATIVO DE FALLA EN VIGAS CON RELACION ($a/c=0.65$) ENSAYADAS A MODULO DE ROTURA

Tabla VI.69: Fotografías de planos transversales de falla en vigas con relación ($a/c=0.65$)




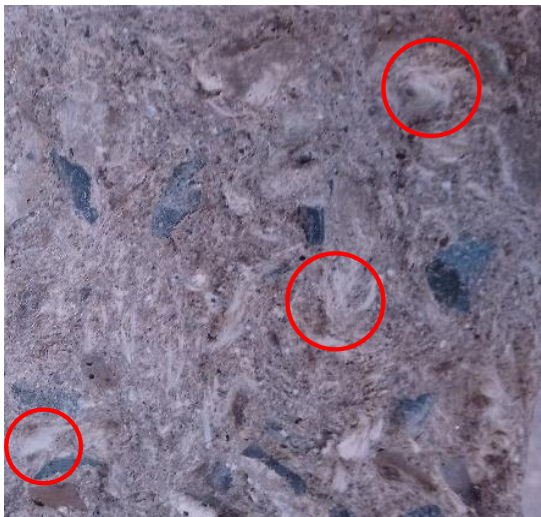
<p>Concreto patrón ($a/c=0.65$) (%Fibra = 0.00%)</p>	<p>Concreto patrón ($a/c=0.65$) (%Fibra = 0.50%)</p>
	
<p>Concreto patrón ($a/c=0.65$) (%Fibra = 1.00%)</p>	<p>Concreto patrón ($a/c=0.65$) (%Fibra = 2.00%)</p>
	

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla VI.69, se observa la formación de cúmulos de fibra formando mechas, para el concreto fibrorreforzado al 2.00%.

6.2.3.3. ANÁLISIS CUALITATIVO DE FALLA EN VIGAS CON RELACION ($a/c=0.70$) ENSAYADAS A MODULO DE ROTURA

Tabla VI.70: Fotografías de planos transversales de falla en vigas con relación ($a/c=0.70$)

<p>Concreto patrón ($a/c=0.70$) (%Fibra = 0.00%)</p>	<p>Concreto patrón ($a/c=0.70$) (%Fibra = 0.50%)</p>
	
<p>Concreto patrón ($a/c=0.70$) (%Fibra = 1.00%)</p>	<p>Concreto patrón ($a/c=0.70$) (%Fibra = 2.00%)</p>
	

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla VI.70, se observa la formación de cúmulos de fibra formando mechas, para el concreto fibrorreforzado al 2.00%.

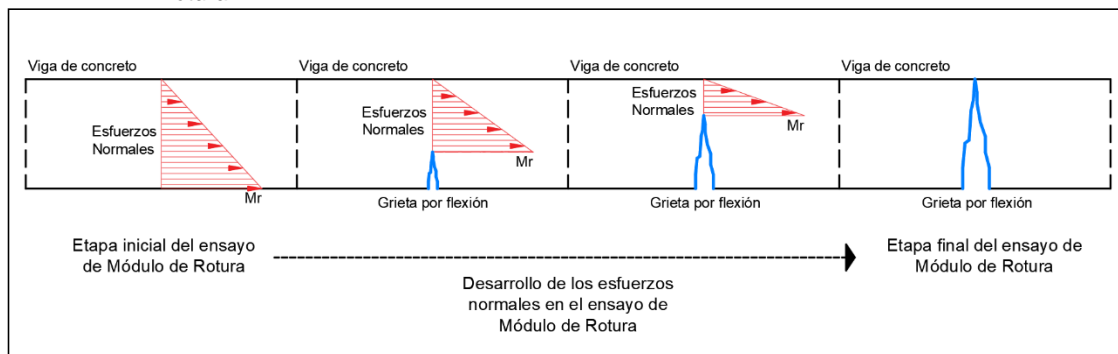
OBSERVACIÓN:

A pesar de los incrementos graduales de la dosificación de fibra sintética en las muestras de concreto, en el ensayo de módulo de rotura cualitativamente no se observaron variaciones en la forma de falla de las vigas con respecto al patrón, esto contrasta a la perfección con el hecho (probado en 6.2.3.2) de que el módulo de rotura del concreto se mantiene constante a pesar del incremento en la dosificación de fibra sintética.

Según lo expuesto en 6.2.1 y 6.2.2 el refuerzo de fibra sintética tuvo efectos positivos sobre el incremento porcentual de la resistencia a la compresión y tracción, sin embargo según lo expuesto en 6.2.3 no tuvo los mismos efectos sobre la resistencia a la flexión, este hecho puede justificarse por:

- ✓ La naturaleza de los **esfuerzos normales** presentes en el plano transversal de falla, en el centro de luz de la viga. Como se observa en la figura VI-42, los esfuerzos normales son de tracción pura en el plano transversal de falla.

Figura VI-42: Desarrollo de los esfuerzos normales en el ensayo de Módulo de Rotura



Fuente: Elaboración propia.

- ✓ La textura lisa de la superficie de la fibra sintética Sika Cem1-fiber y su longitud reducida ($L=20\text{mm}$), características que hacen que la fibra sometida a dichos esfuerzos normales, no tenga la longitud de desarrollo ni el anclaje idóneo para generar incrementos significativos en el módulo de rotura.

CAPÍTULO VII : ELABORACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO

De las propiedades del concreto estudiadas se seleccionaron, para análisis de regresión, aquellas que demostraron:

- ✓ Tendencia al crecimiento o decrecimiento.
- ✓ Importancia directa para el diseño, fabricación y colocación del concreto.

Para las propiedades del concreto endurecido estudiadas, se realizó un análisis de regresión polinómica entre:

$Y_{C \text{ o } T}$ (Variable dependiente): Los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión o tracción promedio.

X (Variable independiente): La dosificación porcentual de la fibra sintética (para cada relación a/c estudiada).

Para las propiedades del concreto fresco estudiadas, se realizó un análisis de regresión polinómica entre:

Y_A (Variable dependiente): Perdida porcentual de asentamiento o slump promedio.

X (Variable independiente): La dosificación porcentual de la fibra sintética (para cada relación a/c estudiada).

Dicho análisis de regresión se realizó entre las muestras con dosificaciones de fibra de: 0.00%, 0.50%, 1.00% (exceptuando las de 2.00%), dado que en 6.2.1 se demostró que superado el 1.00% de dosificación de fibra sintética (respecto al peso de cemento) no se registraron mayores incrementos en la resistencia a la compresión (resultando la dosificación de 1.00% la máxima óptima), **en resumen se realizó el análisis de regresión en muestras con dosificaciones de fibra sintética que están en el intervalo [0.00 - 1.00]%**.

Con la comparación de los coeficientes de determinación de los análisis de regresión polinómica (lineal, cuadrática, cúbica) se determinó la fórmula más idónea para aproximar:

- ✓ En las propiedades del concreto endurecido:
Los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión o tracción promedio ($Y_{C o T}$) en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), para cada relación a/c estudiada.

$$Y_{C o T} = f_{C o T}(X)$$

Cabe resaltar que no se realizó ningún análisis de regresión para el módulo de rotura, dado que en 6.2.3 se demostró que este permanece constante a pesar del incremento en la dosificación de fibra sintética.

- ✓ En las propiedades del concreto fresco:
La pérdida porcentual de asentamiento o slump promedio (Y_A) en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), para cada relación a/c estudiada.

$$Y_A = f_A(X)$$

Cabe resaltar que no se realizó ningún análisis de regresión para el peso unitario, dado que según 6.1.2 el incremento porcentual (con respecto al patrón) del peso unitario del concreto fibrorreforzado es casi despreciable.

7.1. ANÁLISIS DE REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA.

7.1.1. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.60)

Sean las variables X (independiente) e $Y_{C(0.60)}$ (dependiente) donde:

X: Dosificación porcentual de fibra sintética (respecto al peso de cemento).

$Y_{C(0.60)}$: Incremento porcentual de la resistencia a la compresión promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c =0.60

Se presenta la tabla VII.1, como resumen de datos previos, para el análisis de regresión lineal y cuadrática:

Tabla VII.1: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación a/c =0.60

a/c	DOSIFICACION DE FIBRA (%)	INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO (%)						
	X	Y	X ²	X ³	X ⁴	X*Y	X ² *Y	Y ²
0.60	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.50	6.52	0.2500	0.1250	0.0625	3.2605	1.6303	42.5244
	1.00	15.73	1.0000	1.0000	1.0000	15.7320	15.7320	247.4966
SUMATORIA	$\sum X_i$	$\sum Y_i$	$\sum X_i^2$	$\sum X_i^3$	$\sum X_i^4$	$\sum X_i Y_i$	$\sum X_i^2 Y_i$	$\sum Y_i^2$
	1.5000	22.2531	1.2500	1.1250	1.0625	18.9926	17.3623	290.0210

Fuente: Elaboración propia.

A1. REGRESIÓN LINEAL $Y = AX+B$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.60)

Se realizó un análisis de regresión lineal y se determinó una función lineal para aproximar: los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c =0.60.

Se plantea la función lineal:

$$Y_{C(0.60)} = f_{C(0.60)}(X) = A_{C(0.60)}X + B_{C(0.60)}$$

Luego según un análisis de regresión lineal, las constantes $A_{C(0.60)}$ y $B_{C(0.60)}$, se calculan como:

$$A_{C(0.60)} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}$$

$$B_{C(0.60)} = \frac{\sum Y - A_{C(0.60)} \sum X}{n}$$

Donde “n” es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $A_{C(0.60)}$ y $B_{C(0.60)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.1, se tiene:

$$A_{C(0.60)} = \frac{18.9926 - \frac{1.5000 \times 22.2531}{3}}{1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}} = 15.7320$$

$$B_{C(0.60)} = \frac{\sum Y - A_{C(0.60)} \sum X}{n} = \frac{22.2531 - 15.7320 \times 1.5000}{3} = -0.4483$$

Con los valores de las constantes $A_{C(0.60)}$ y $B_{C(0.60)}$ en la función lineal $f_{C(0.60)}(X)$ que aproxima los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

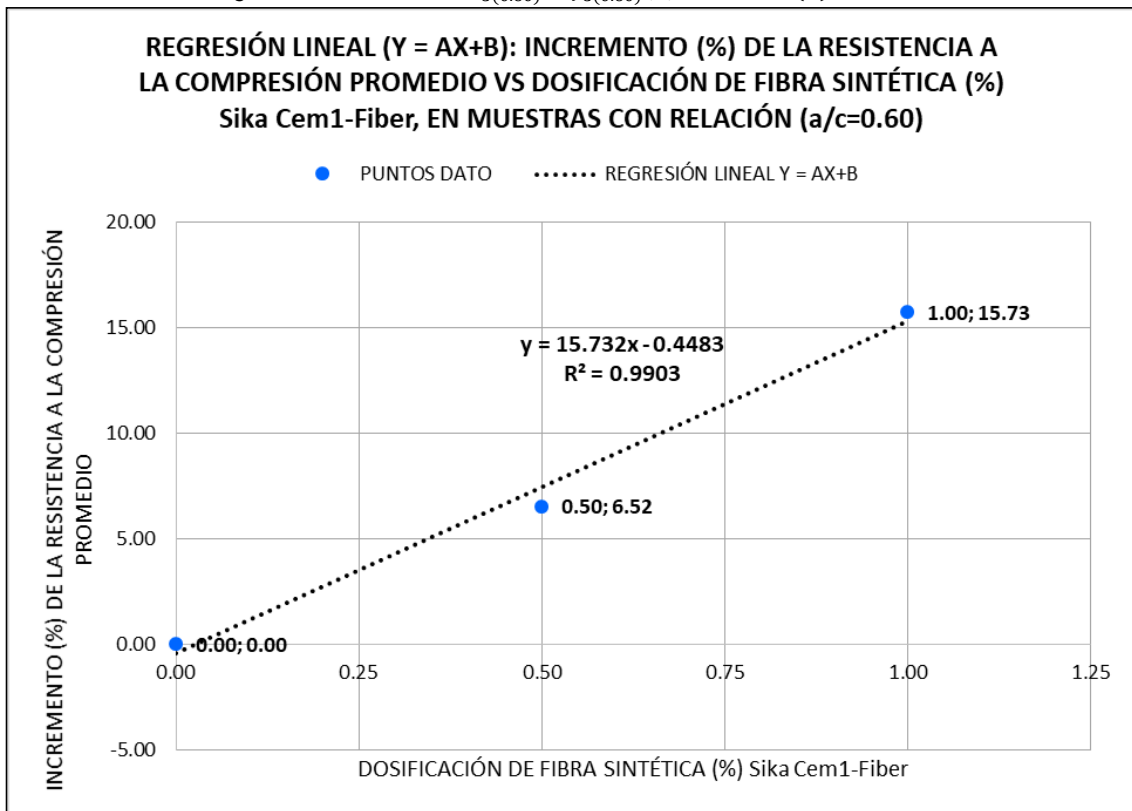
$$Y_{C(0.60)} = f_{C(0.60)}(X) = 15.7320(X) - 0.4483$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación R^2 del análisis de regresión lineal, que representa una medida de la aproximación de la función $f_{C(0.60)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_f^2 = \frac{\sum(Y)(f_{C(0.60)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 0.9903$$

Los valores de R^2 varían entre 0 y 1, siendo las funciones de mejor aproximación las que poseen valores de R^2 más cercanos a 1.

Figura VII-1: Grafica de $Y_{C(0.60)} = f_{C(0.60)}(X) = 15.7320(X) - 0.4483$



Nota: El análisis de regresión polinómica del incremento (%) de la resistencia a la compresión en muestras con relación (a/c=0.60), se realizó entre las muestras con dosificaciones de fibra de: 0.00%, 0.50%, 1.00% (exceptuando la de 2.00%), dado que en 6.2.1.2 se demostró que superado el 1.00% de dosificación de fibra sintética (respecto al peso de cemento) no se registraron mayores incrementos en la resistencia a la compresión (resultando la dosificación de 1.00% la máxima recomendable).

Fuente: Elaboración propia.

B1. REGRESIÓN CUADRÁTICA $Y = CX^2 + DX + E$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.60)

Se realizó un análisis de regresión cuadrática y se determinó una función de segundo grado para aproximar: los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c = 0.60.

Se plantea la función cuadrática:

$$Y_{C(0.60)} = g_{C(0.60)}(X) = C_{C(0.60)}X^2 + D_{C(0.60)}X + E_{C(0.60)}$$

Luego según un análisis de regresión cuadrática, las constantes $C_{C(0.60)}$, $D_{C(0.60)}$ y $E_{C(0.60)}$, se calculan como:

$$C_{C(0.60)} = \frac{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right) \times \left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$D_{C(0.60)} = \frac{\left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$E_{C(0.60)} = \frac{\sum Y - D_{C(0.60)} \times \sum X - C_{C(0.60)} \times \sum X^2}{n}$$

Donde "n" es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $C_{C(0.60)}$, $D_{C(0.60)}$ y $E_{C(0.60)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.1, se tiene:

$$C_{C(0.60)} = \frac{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(17.3623 - \frac{(1.2500)(22.2531)}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right) \times \left(18.9926 - \frac{(1.5000)(22.2531)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2} = 5.3797$$

$$D_{C(0.60)} = \frac{\left(18.9926 - \frac{(1.5000)(22.2531)}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(17.3623 - \frac{(1.2500)(22.2531)}{3}\right) \times \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2} = 10.3523$$

$$E_{C(0.60)} = \frac{22.2531 - 10.3523 \times 1.5000 - 5.3797 \times 1.2500}{3} = 0.0000$$

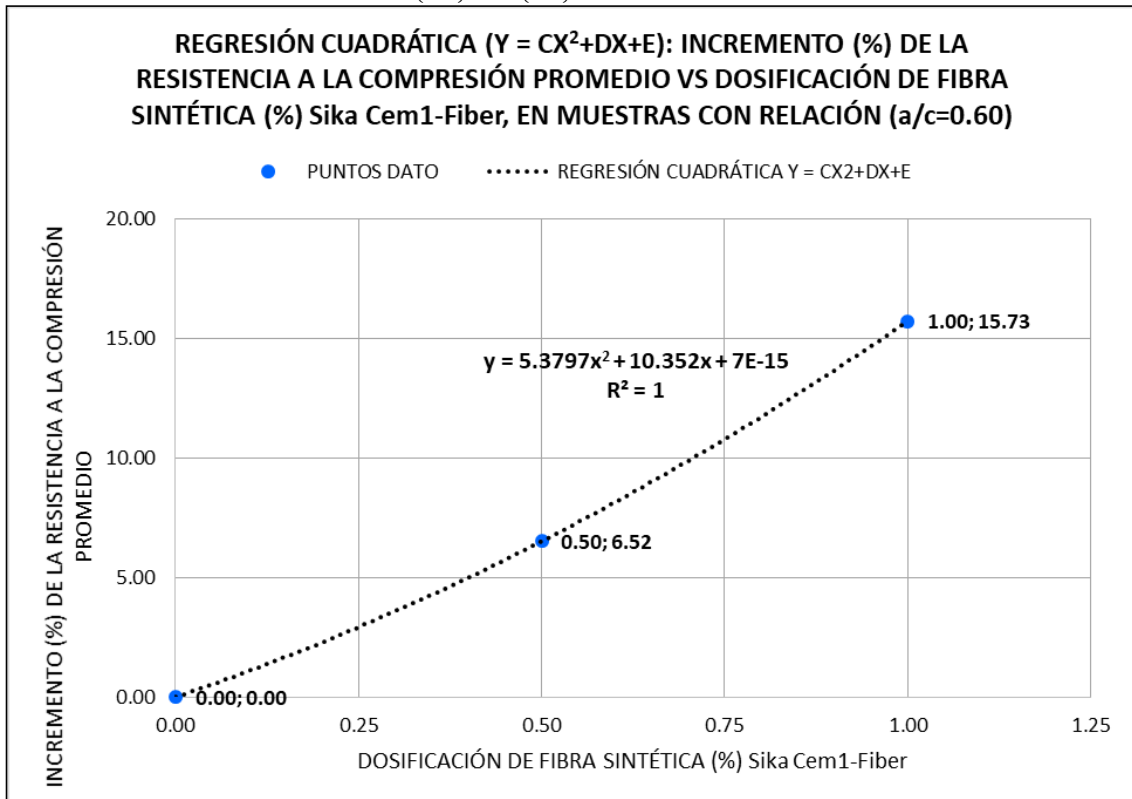
Con los valores de las constantes $C_{C(0.60)}$, $D_{C(0.60)}$ y $E_{C(0.60)}$ en la función de segundo grado $g_{C(0.60)}(X)$ que aproxima los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{C(0.60)} = g_{C(0.60)}(X) = 5.3797(X)^2 + 10.3523(X) + 0.0000$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación $(R_g)^2$ del análisis de regresión cuadrática, que representa una medida de la aproximación de la función $g_{C(0.60)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_g^2 = \frac{\sum(Y)(g_{C(0.60)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{3}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{3}} = 1.0000$$

Figura VII-2: Grafica de $Y_{C(0.60)} = g_{C(0.60)}(X) = 5.3797(X)^2 + 10.3523(X) + 0.0000$



Nota: Ver nota de la Figura VII-1.

Fuente: Elaboración propia.

C1. ELECCIÓN DE LA FUNCIÓN DE APROXIMACIÓN IDÓNEA, PARA EL CÁLCULO DEL INCREMENTO PORCENTUAL DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FUNCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE FIBRA SINTÉTICA, EN MUESTRAS DE CONCRETO CON RELACIÓN (a/c=0.60)

De A1 y B1 se tienen las siguientes funciones de aproximación:

$$Y_{C(0.60)} = f_{C(0.60)}(X) = 15.7320(X) - 0.4483$$

$$Y_{C(0.60)} = g_{C(0.60)}(X) = 5.3797(X)^2 + 10.3523(X) + 0.0000$$

Con coeficientes de determinación $R_f^2 = 0.9903$ y $R_g^2 = 1.0000$ respectivamente.

Comparando las funciones y sus valores de coeficientes de determinación, se observó que la función $g_{C(0.60)}(X)$ posee un coeficiente de determinación superior y más cercano a 1, por lo tanto se eligió la función $g_{C(0.60)}(X)$ como idónea para el cálculo del incremento porcentual de resistencia a la compresión en función de la dosificación porcentual de fibra sintética, en muestras de concreto con relación (a/c=0.60).

$$Y_{C(0.60)} = g_{C(0.60)}(X) = 5.3797(X)^2 + 10.3523(X) + 0.0000$$

$$Y_{C(0.60)} = 5.3797(X)^2 + 10.3523(X) + 0.0000$$

Reduciendo y redondeando, finalmente la función de aproximación será:

$$Y_{C(0.60)} = 5.38(X)^2 + 10.35(X) ; \forall X \in [0.00 ; 1.00]$$

Donde:

X: Dosificación porcentual (%) de fibra sintética (respecto al peso de cemento). Donde X se encuentra en el intervalo [0.00 - 1.00].

$Y_{C(0.60)}$: Incremento porcentual (%) de la resistencia a la compresión promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c = 0.60.

7.1.2. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.65)

Sean las variables X (independiente) e $Y_{C(0.65)}$ (dependiente) donde:

X: Dosificación porcentual de fibra sintética (respecto al peso de cemento).

$Y_{C(0.65)}$: Incremento porcentual de la resistencia a la compresión promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c =0.65

Se presenta la tabla VII.2, como resumen de datos previos, para el análisis de regresión lineal y cuadrática:

Tabla VII.2: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación a/c =0.65

a/c	DOSIFICACION DE FIBRA (%)	INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO (%)						
	X	Y	X ²	X ³	X ⁴	X*Y	X ² *Y	Y ²
0.65	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.50	9.06	0.2500	0.1250	0.0625	4.5303	2.2651	82.0928
	1.00	22.90	1.0000	1.0000	1.0000	22.8964	22.8964	524.2448
SUMATORIA	$\sum X_i$	$\sum Y_i$	$\sum X_i^2$	$\sum X_i^3$	$\sum X_i^4$	$\sum X_i Y_i$	$\sum X_i^2 Y_i$	$\sum Y_i^2$
	1.5000	31.9569	1.2500	1.1250	1.0625	27.4266	25.1615	606.3376

Fuente: Elaboración propia.

A2. REGRESIÓN LINEAL $Y = AX+B$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.65)

Se realizó un análisis de regresión lineal y se determinó una función lineal para aproximar: los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c =0.65.

Se plantea la función lineal:

$$Y_{C(0.65)} = f_{C(0.65)}(X) = A_{C(0.65)}X + B_{C(0.65)}$$

Luego según un análisis de regresión lineal, las constantes $A_{C(0.65)}$ y $B_{C(0.65)}$, se calculan como:

$$A_{C(0.65)} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}$$

$$B_{C(0.65)} = \frac{\sum Y - A_{C(0.65)} \sum X}{n}$$

Donde “n” es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $A_{C(0.65)}$ y $B_{C(0.65)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.2, se tiene:

$$A_{C(0.65)} = \frac{27.4266 - \frac{1.5000 \times 31.9569}{3}}{1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}} = 22.8964$$

$$B_{C(0.65)} = \frac{\sum Y - A_{C(0.65)} \sum X}{n} = \frac{31.9569 - 22.8964 \times 1.5000}{3} = -0.7959$$

Con los valores de las constantes $A_{C(0.65)}$ y $B_{C(0.65)}$ en la función lineal $f_{C(0.65)}(X)$ que aproxima los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

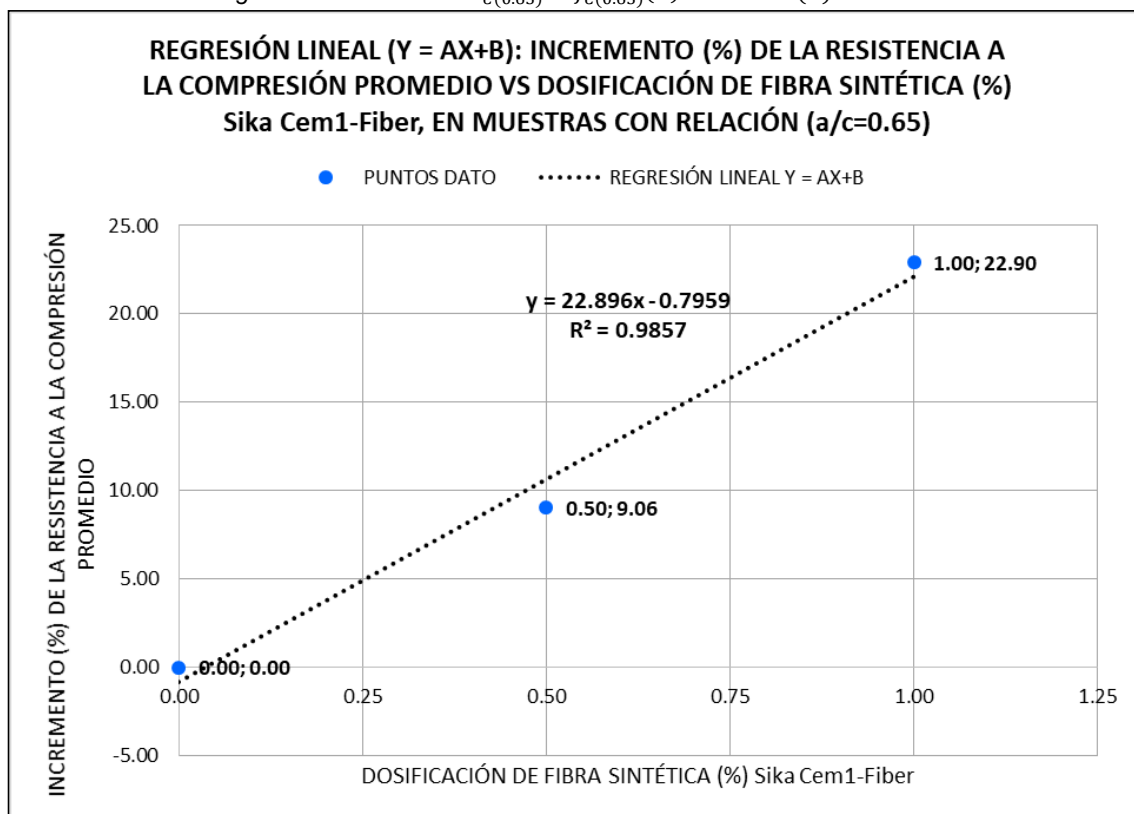
$$Y_{C(0.65)} = f_{C(0.65)}(X) = 22.8964(X) - 0.7959$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación R^2 del análisis de regresión lineal, que representa una medida de la aproximación de la función $f_{C(0.65)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_f^2 = \frac{\sum(Y)(f_{C(0.65)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 0.9857$$

Los valores de R^2 varían entre 0 y 1, siendo las funciones de mejor aproximación las que poseen valores de R^2 más cercanos a 1.

Figura VII-3: Grafica de $Y_{C(0.65)} = f_{C(0.65)}(X) = 22.8964(X) - 0.7959$



Nota: El análisis de regresión polinómica del incremento (%) de la resistencia a la compresión en muestras con relación (a/c=0.65), se realizó entre las muestras con dosificaciones de fibra de: 0.00%, 0.50%, 1.00% (exceptuando la de 2.00%), dado que en 6.2.1.2 se demostró que superado el 1.00% de dosificación de fibra sintética (respecto al peso de cemento) no se registraron mayores incrementos en la resistencia a la compresión (resultando la dosificación de 1.00% la máxima recomendable).

Fuente: Elaboración propia.

B2. REGRESIÓN CUADRÁTICA $Y = CX^2 + DX + E$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.65)

Se realizó un análisis de regresión cuadrática y se determinó una función de segundo grado para aproximar: los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c = 0.65.

Se plantea la función cuadrática:

$$Y_{C(0.65)} = g_{C(0.65)}(X) = C_{C(0.65)}X^2 + D_{C(0.65)}X + E_{C(0.65)}$$

Luego según un análisis de regresión cuadrática, las constantes $C_{C(0.65)}$, $D_{C(0.65)}$ y $E_{C(0.65)}$, se calculan como:

$$C_{C(0.65)} = \frac{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right) \times \left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$D_{C(0.65)} = \frac{\left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$E_{C(0.65)} = \frac{\sum Y - D_{C(0.65)} \times \sum X - C_{C(0.65)} \times \sum X^2}{n}$$

Donde "n" es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $C_{C(0.65)}$, $D_{C(0.65)}$ y $E_{C(0.65)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.2, se tiene:

$$C_{C(0.65)} = \frac{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(25.1615 - \frac{(1.2500)(31.9569)}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right) \times \left(27.4266 - \frac{(1.5000)(31.9569)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2} = 9.5508$$

$$D_{C(0.65)} = \frac{\left(27.4266 - \frac{(1.5000)(31.9569)}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(25.1615 - \frac{(1.2500)(31.9569)}{3}\right) \times \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2} = 13.3456$$

$$E_{C(0.65)} = \frac{31.9569 - 13.3456 \times 1.5000 - 9.5508 \times 1.2500}{3} = 0.0000$$

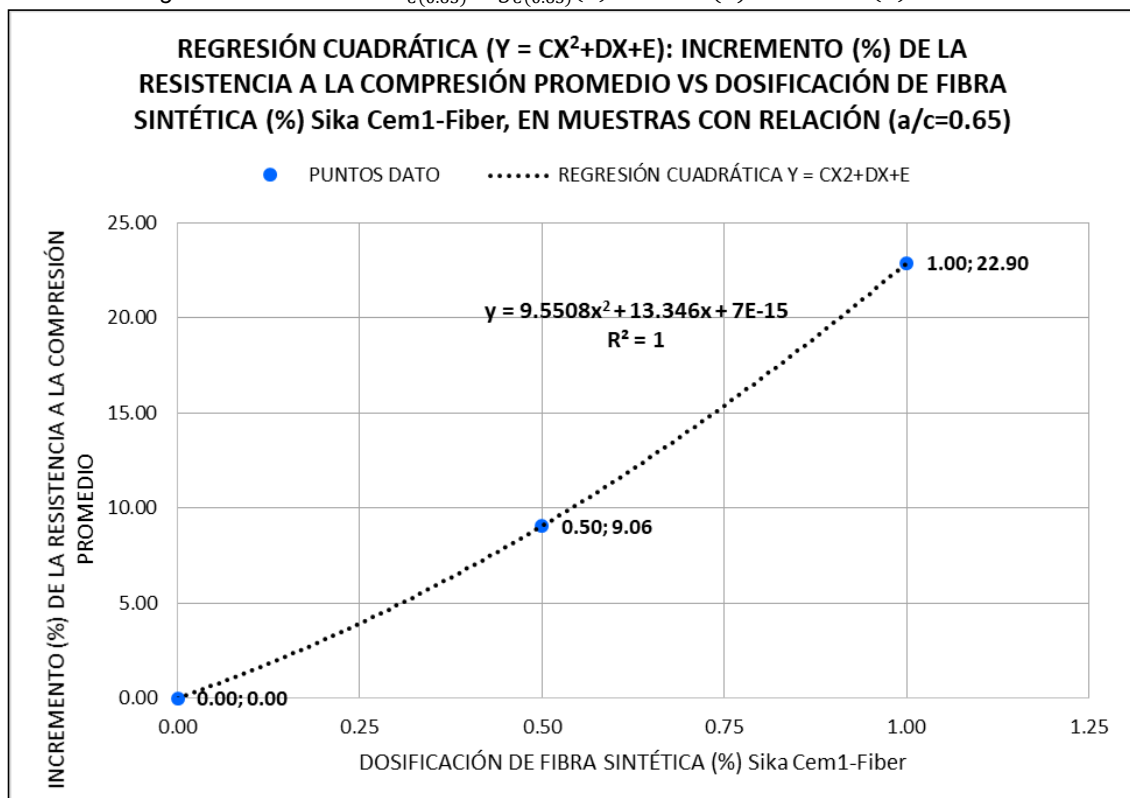
Con los valores de las constantes $C_{C(0.65)}$, $D_{C(0.65)}$ y $E_{C(0.65)}$ en la función de segundo grado $g_{C(0.65)}(X)$ que aproxima los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{C(0.65)} = g_{C(0.65)}(X) = 9.5508(X)^2 + 13.3456(X) + 0.0000$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación $(R_g)^2$ del análisis de regresión cuadrática, que representa una medida de la aproximación de la función $g_{C(0.65)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_g^2 = \frac{\sum(Y)(g_{C(0.65)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 1.0000$$

Figura VII-4: Grafica de $Y_{C(0.65)} = g_{C(0.65)}(X) = 9.5508(X)^2 + 13.3456(X) + 0.0000$



Nota: Ver nota de Figura VII-3.

Fuente: Elaboración propia.

C2. ELECCIÓN DE LA FUNCIÓN DE APROXIMACIÓN IDÓNEA, PARA EL CÁLCULO DEL INCREMENTO PORCENTUAL DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FUNCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE FIBRA SINTÉTICA, EN MUESTRAS DE CONCRETO CON RELACIÓN (a/c=0.65)

De A2 y B2 se tienen las siguientes funciones de aproximación:

$$Y_{C(0.65)} = f_{C(0.65)}(X) = 22.8964(X) - 0.7959$$
$$Y_{C(0.65)} = g_{C(0.65)}(X) = 9.5508(X)^2 + 13.3456(X) + 0.0000$$

Con coeficientes de determinación $R_f^2 = 0.9857$ y $R_g^2 = 1.0000$ respectivamente.

Comparando las funciones y sus valores de coeficientes de determinación, se observó que la función $g_{C(0.65)}(X)$ posee un coeficiente de determinación superior y más cercano a 1, por lo tanto se eligió la función $g_{C(0.65)}(X)$ como idónea para el cálculo del incremento porcentual de resistencia a la compresión en función de la dosificación porcentual de fibra sintética, en muestras de concreto con relación (a/c=0.65).

$$Y_{C(0.65)} = g_{C(0.65)}(X) = 9.5508(X)^2 + 13.3456(X) + 0.0000$$
$$Y_{C(0.65)} = 9.5508(X)^2 + 13.3456(X) + 0.0000$$

Reduciendo y redondeando, finalmente la función de aproximación será:

$$Y_{C(0.65)} = 9.55(X)^2 + 13.35(X) ; \forall X \in [0.00 ; 1.00]$$

Donde:

X: Dosificación porcentual (%) de fibra sintética (respecto al peso de cemento). Donde X se encuentra en el intervalo [0.00 - 1.00].

$Y_{C(0.65)}$: Incremento porcentual (%) de la resistencia a la compresión promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c = 0.65.

7.1.3. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.70)

Sean las variables X (independiente) e $Y_{C(0.70)}$ (dependiente) donde:

X: Dosificación porcentual de fibra sintética (respecto al peso de cemento).

$Y_{C(0.70)}$: Incremento porcentual de la resistencia a la compresión promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c =0.70

Se presenta la tabla VII.3, como resumen de datos previos, para el análisis de regresión lineal y cuadrática:

Tabla VII.3: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación a/c =0.70

a/c	DOSIFICACION DE FIBRA (%)	INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO (%)						
	X	Y	X ²	X ³	X ⁴	X*Y	X ² *Y	Y ²
0.70	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.50	10.78	0.2500	0.1250	0.0625	5.3902	2.6951	116.2177
	1.00	21.51	1.0000	1.0000	1.0000	21.5052	21.5052	462.4721
SUMATORIA	$\sum X_i$	$\sum Y_i$	$\sum X_i^2$	$\sum X_i^3$	$\sum X_i^4$	$\sum X_i Y_i$	$\sum X_i^2 Y_i$	$\sum Y_i^2$
	1.5000	32.2856	1.2500	1.1250	1.0625	26.8954	24.2003	578.6897

Fuente: Elaboración propia.

A3. REGRESIÓN LINEAL $Y = AX+B$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.70)

Se realizó un análisis de regresión lineal y se determinó una función lineal para aproximar: los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c =0.70.

Se plantea la función lineal:

$$Y_{C(0.70)} = f_{C(0.70)}(X) = A_{C(0.70)}X + B_{C(0.70)}$$

Luego según un análisis de regresión lineal, las constantes $A_{C(0.65)}$ y $B_{C(0.65)}$, se calculan como:

$$A_{C(0.70)} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}$$

$$B_{C(0.70)} = \frac{\sum Y - A_{C(0.70)} \sum X}{n}$$

Donde “n” es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $A_{C(0.70)}$ y $B_{C(0.70)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.3, se tiene:

$$A_{C(0.70)} = \frac{26.8954 - \frac{1.5000 \times 32.2856}{3}}{1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}} = 21.5052$$

$$B_{C(0.70)} = \frac{\sum Y - A_{C(0.70)} \sum X}{n} = \frac{32.2856 - 21.5052 \times 1.5000}{3} = 0.0093$$

Con los valores de las constantes $A_{C(0.65)}$ y $B_{C(0.65)}$ en la función lineal $f_{C(0.70)}(X)$ que aproxima los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

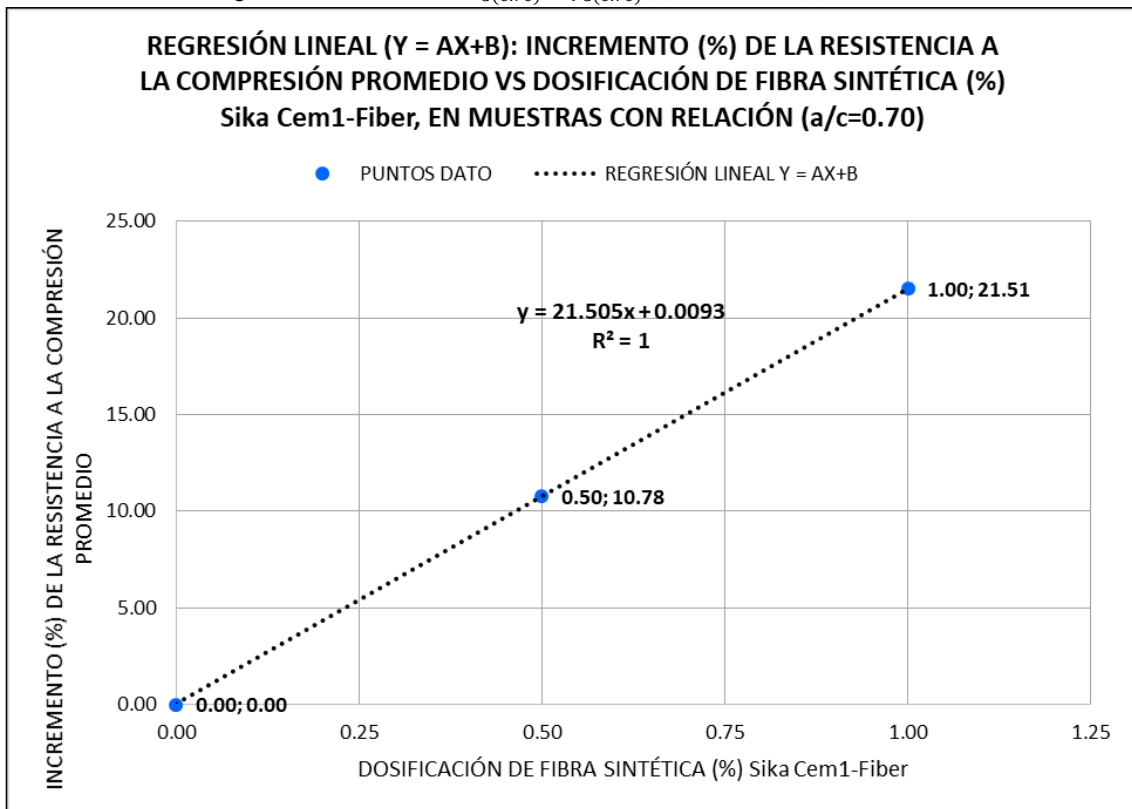
$$Y_{C(0.70)} = f_{C(0.70)}(X) = 21.5052(X) + 0.0093$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación R^2 del análisis de regresión lineal, que representa una medida de la aproximación de la función $f_{C(0.70)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_f^2 = \frac{\sum(Y)(f_{C(0.70)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 1.0000$$

Los valores de R^2 varían entre 0 y 1, siendo las funciones de mejor aproximación las que poseen valores de R^2 más cercanos a 1.

Figura VII-5: Grafica de $Y_{C(0.70)} = f_{C(0.70)}(X) = 21.5052(X) + 0.0093$



Nota: El análisis de regresión polinómica del incremento (%) de la resistencia a la compresión en muestras con relación (a/c=0.70), se realizó entre las muestras con dosificaciones de fibra de: 0.00%, 0.50%, 1.00% (exceptuando la de 2.00%), dado que en 6.2.1.2 se demostró que superado el 1.00% de dosificación de fibra sintética (respecto al peso de cemento) no se registraron mayores incrementos en la resistencia a la compresión (resultando la dosificación de 1.00% la máxima recomendable).

Fuente: Elaboración propia.

B3. REGRESIÓN CUADRÁTICA $Y = CX^2 + DX + E$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.70)

Se realizó un análisis de regresión cuadrática y se determinó una función de segundo grado para aproximar: los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c = 0.70.

Se plantea la función cuadrática:

$$Y_{C(0.70)} = g_{C(0.70)}(X) = C_{C(0.70)}X^2 + D_{C(0.70)}X + E_{C(0.70)}$$

Luego según un análisis de regresión cuadrática, las constantes $C_{C(0.70)}$, $D_{C(0.70)}$ y $E_{C(0.70)}$, se calculan como:

$$C_{C(0.70)} = \frac{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right) \times \left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$D_{C(0.70)} = \frac{\left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$E_{C(0.70)} = \frac{\sum Y - D_{C(0.70)} \times \sum X - C_{C(0.70)} \times \sum X^2}{n}$$

Donde "n" es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $C_{C(0.70)}$, $D_{C(0.70)}$ y $E_{C(0.70)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.3, se tiene:

$$C_{C(0.70)} = \frac{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(24.2003 - \frac{(1.2500)(32.2856)}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right) \times \left(26.8954 - \frac{(1.5000)(32.2856)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2} = -0.1114$$

$$D_{C(0.70)} = \frac{\left(26.8954 - \frac{(1.5000)(32.2856)}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(24.2003 - \frac{(1.2500)(32.2856)}{3}\right) \times \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2} = 21.6166$$

$$E_{C(0.70)} = \frac{32.2856 - 21.6166 \times 1.5000 + 0.1114 \times 1.2500}{3} = 0.0000$$

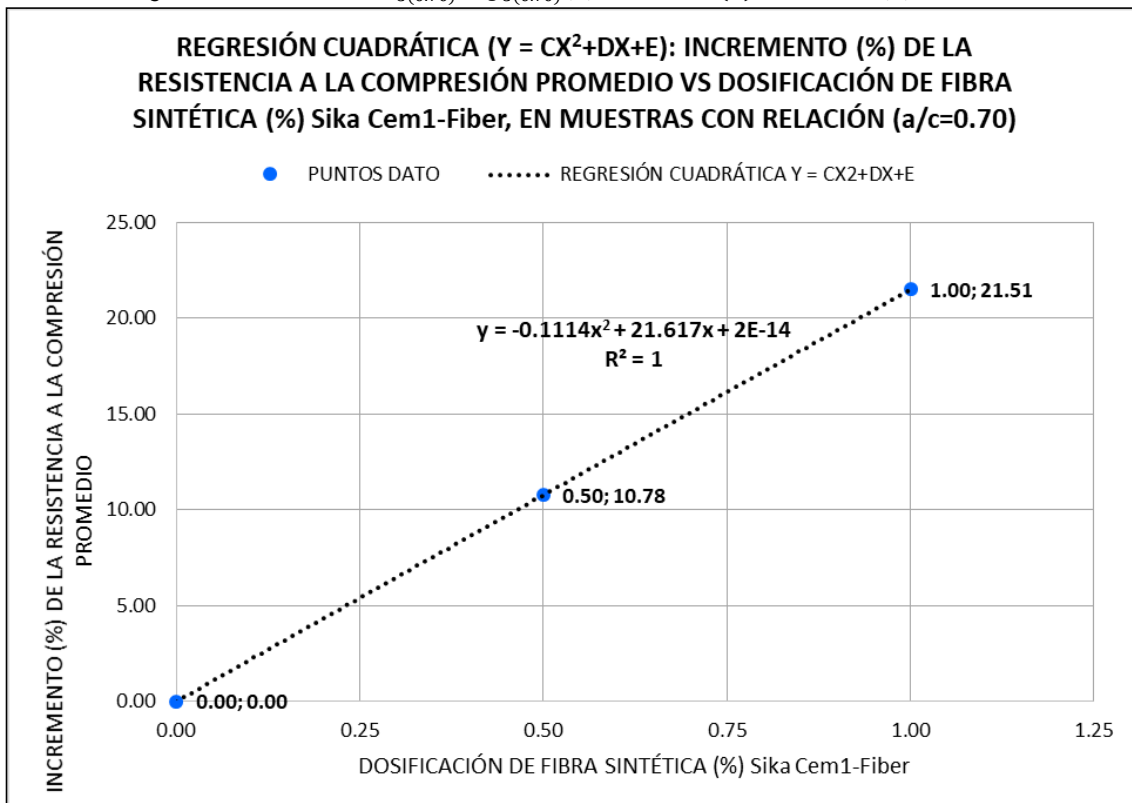
Con los valores de las constantes $C_{C(0.70)}$, $D_{C(0.70)}$ y $E_{C(0.70)}$ en la función de segundo grado $g_{C(0.70)}(X)$ que aproxima los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{C(0.70)} = g_{C(0.70)}(X) = -0.1114(X)^2 + 21.6166(X) + 0.0000$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación $(R_g)^2$ del análisis de regresión cuadrática, que representa una medida de la aproximación de la función $g_{C(0.70)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_g^2 = \frac{\sum(Y)(g_{C(0.70)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 1.0000$$

Figura VII-6: Grafica de $Y_{C(0.70)} = g_{C(0.70)}(X) = -0.1114(X)^2 + 21.6166(X) + 0.0000$



Nota: Ver nota de Figura VII-5.
Fuente: Elaboración propia.

C3. ELECCIÓN DE LA FUNCIÓN DE APROXIMACIÓN IDÓNEA, PARA EL CÁLCULO DEL INCREMENTO PORCENTUAL DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FUNCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE FIBRA SINTÉTICA, EN MUESTRAS DE CONCRETO CON RELACIÓN (a/c=0.70)

De A2 y B2 se tienen las siguientes funciones de aproximación:

$$Y_{C(0.70)} = f_{C(0.70)}(X) = 21.5052(X) + 0.0093$$
$$Y_{C(0.70)} = g_{C(0.70)}(X) = -0.1114(X)^2 + 21.6166(X) + 0.0000$$

Con coeficientes de determinación $R_f^2 = 1.0000$ y $R_g^2 = 1.0000$ respectivamente.

Comparando las funciones y sus valores de coeficientes de determinación, se observó que las funciones $f_{C(0.70)}(X)$ y $g_{C(0.70)}(X)$ poseen un coeficiente de determinación igual a 1; sin embargo se eligió la función $g_{C(0.70)}(X)$, por aproximar con mayor precisión el punto (0.00; 0.00), como idónea para el cálculo del incremento porcentual de resistencia a la compresión en función de la dosificación porcentual de fibra sintética, en muestras de concreto con relación (a/c=0.70).

$$Y_{C(0.70)} = g_{C(0.70)}(X) = -0.1114(X)^2 + 21.6166(X) + 0.0000$$
$$Y_{C(0.70)} = -0.1114(X)^2 + 21.6166(X) + 0.0000$$

Reduciendo y redondeando, finalmente la función de aproximación será:

$$Y_{C(0.70)} = -0.11(X)^2 + 21.62(X) ; \forall X \in [0.00 ; 1.00]$$

Donde:

X: Dosificación porcentual (%) de fibra sintética (respecto al peso de cemento). Donde X se encuentra en el intervalo [0.00 - 1.00].

$Y_{C(0.70)}$: Incremento porcentual (%) de la resistencia a la compresión promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c = 0.70.

7.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA.

7.2.1. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.60)

Sean las variables X (independiente) e $Y_{T(0.60)}$ (dependiente) donde:

X: Dosificación porcentual de fibra sintética (respecto al peso de cemento).

$Y_{T(0.60)}$: Incremento porcentual de la resistencia a la tracción promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c =0.60

Se presenta la tabla VII.4, como resumen de datos previos, para el análisis de regresión lineal y cuadrática:

Tabla VII.4: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación a/c =0.60

a/c	DOSIFICACION DE FIBRA (%)	INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO (%)						
	X	Y	X ²	X ³	X ⁴	X*Y	X ² *Y	Y ²
0.60	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.50	0.65	0.2500	0.1250	0.0625	0.3248	0.1624	0.4221
	1.00	3.45	1.0000	1.0000	1.0000	3.4520	3.4520	11.9163
SUMATORIA	$\sum X_i$	$\sum Y_i$	$\sum X_i^2$	$\sum X_i^3$	$\sum X_i^4$	$\sum X_i Y_i$	$\sum X_i^2 Y_i$	$\sum Y_i^2$
	1.5000	4.1017	1.2500	1.1250	1.0625	3.7768	3.6144	12.3383

Fuente: Elaboración propia.

A4. REGRESIÓN LINEAL $Y = AX+B$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.60)

Se realizó un análisis de regresión lineal y se determinó una función lineal para aproximar: los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c =0.60.

Se plantea la función lineal:

$$Y_{T(0.60)} = f_{T(0.60)}(X) = A_{T(0.60)}X + B_{T(0.60)}$$

Luego según un análisis de regresión lineal, las constantes $A_{T(0.60)}$ y $B_{T(0.60)}$, se calculan como:

$$A_{T(0.60)} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}$$

$$B_{T(0.60)} = \frac{\sum Y - A_{T(0.60)} \sum X}{n}$$

Donde “n” es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $A_{T(0.60)}$ y $B_{T(0.60)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.4, se tiene:

$$A_{T(0.60)} = \frac{3.7768 - \frac{1.5000 \times 4.1017}{3}}{1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}} = 3.4520$$

$$B_{T(0.60)} = \frac{\sum Y - A_{T(0.60)} \sum X}{n} = \frac{4.1017 - 3.4520 \times 1.5000}{3} = -0.3588$$

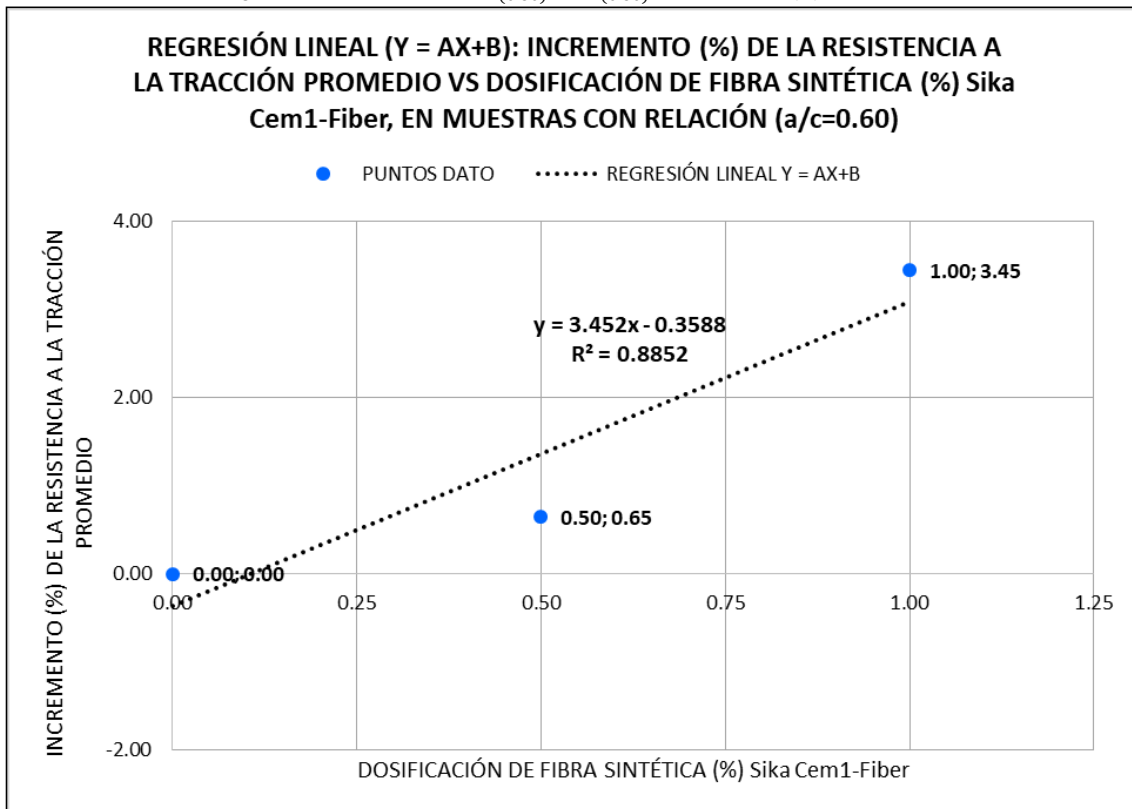
Con los valores de las constantes $A_{T(0.60)}$ y $B_{T(0.60)}$ en la función lineal $f_{T(0.60)}(X)$ que aproxima los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{T(0.60)} = f_{T(0.60)}(X) = 3.4520(X) - 0.3588$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación R^2 del análisis de regresión lineal, que representa una medida de la aproximación de la función $f_{T(0.60)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_f^2 = \frac{\sum(Y)(f_{T(0.60)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 0.8852$$

Figura VII-7: Grafica de $Y_{T(0.60)} = f_{T(0.60)}(X) = 3.4520(X) - 0.3588$



Nota: El análisis de regresión polinómica del incremento (%) de la resistencia a la tracción en muestras con relación (a/c=0.60), se realizó entre las muestras con dosificaciones de fibra de: 0.00%, 0.50%, 1.00% (exceptuando la de 2.00%), como correspondencia al análisis de regresión polinómica del incremento (%) de la resistencia a la compresión, donde se estudiaron valores de dosificación de fibra sintética en el intervalo [0.00-1.00] %.

Fuente: Elaboración propia.

B4. REGRESIÓN CUADRÁTICA $Y = CX^2 + DX + E$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.60)

Se realizó un análisis de regresión cuadrática y se determinó una función de segundo grado para aproximar: los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c = 0.60.

Se plantea la función cuadrática:

$$Y_{T(0.60)} = g_{T(0.60)}(X) = C_{T(0.60)}X^2 + D_{T(0.60)}X + E_{T(0.60)}$$

Luego según un análisis de regresión cuadrática, las constantes $C_{T(0.60)}$, $D_{T(0.60)}$ y $E_{T(0.60)}$, se calculan como:

$$C_{T(0.60)} = \frac{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right) \times \left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$D_{T(0.60)} = \frac{\left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$E_{T(0.60)} = \frac{\sum Y - D_{T(0.60)} \times \sum X - C_{T(0.60)} \times \sum X^2}{n}$$

Donde "n" es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $C_{T(0.60)}$, $D_{T(0.60)}$ y $E_{T(0.60)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.4, se tiene:

$$C_{T(0.60)} = \frac{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(3.6144 - \frac{(1.2500)(4.1017)}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right) \times \left(3.7768 - \frac{(1.5000)(4.1017)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2} = 4.3053$$

$$D_{T(0.60)} = \frac{\left(3.7768 - \frac{(1.5000)(4.1017)}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(3.6144 - \frac{(1.2500)(4.1017)}{3}\right) \times \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2} = -0.8533$$

$$E_{T(0.60)} = \frac{4.1017 + 0.8533 \times 1.5000 - 4.3053 \times 1.2500}{3} = 0.0000$$

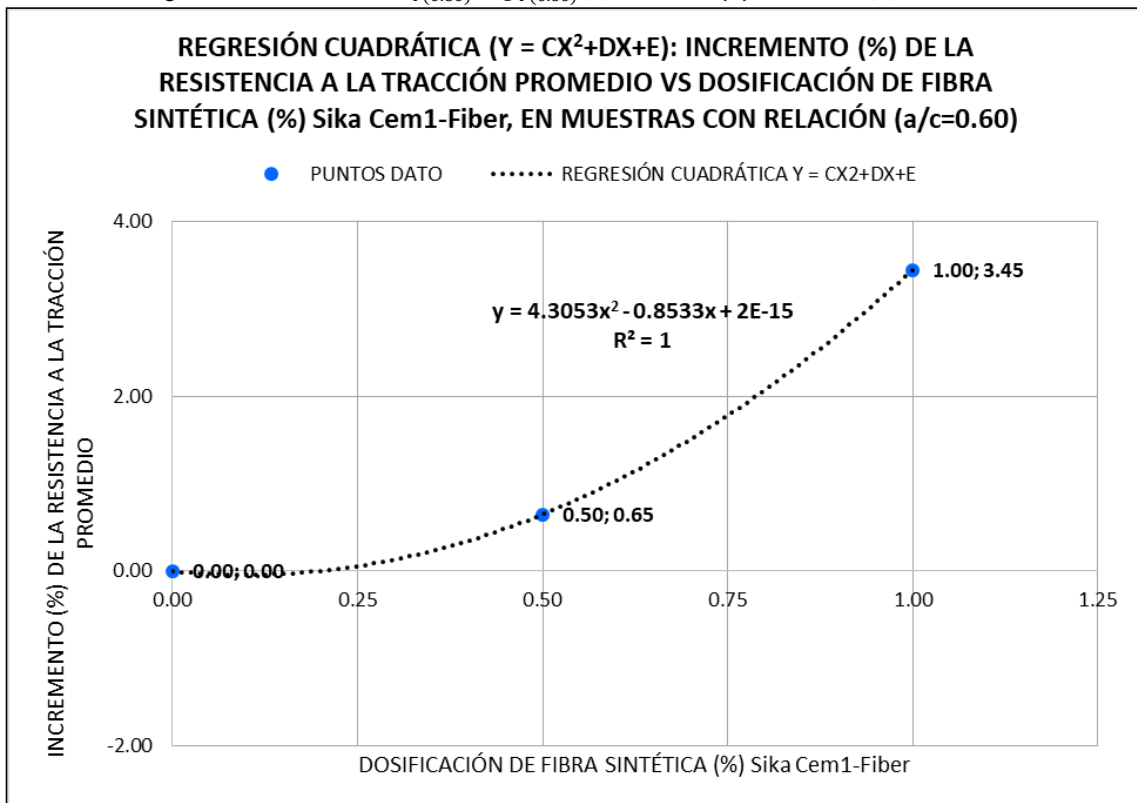
Con los valores de las constantes $C_{T(0.60)}$, $D_{T(0.60)}$ y $E_{T(0.60)}$ en la función de segundo grado $g_{T(0.60)}(X)$ que aproxima los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{T(0.60)} = g_{T(0.60)}(X) = 4.3053(X)^2 - 0.8533(X) + 0.0000$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación $(R_g)^2$ del análisis de regresión cuadrática, que representa una medida de la aproximación de la función $g_{T(0.60)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_g^2 = \frac{\sum(Y)(g_{T(0.60)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 1.0000$$

Figura VII-8: Grafica de $Y_{T(0.60)} = g_{T(0.60)}(X) = 4.3053(X)^2 - 0.8533(X) + 0.0000$



Nota: Ver nota de Figura VII-7.

Fuente: Elaboración propia.

C4. ELECCIÓN DE LA FUNCIÓN DE APROXIMACIÓN IDÓNEA, PARA EL CÁLCULO DEL INCREMENTO PORCENTUAL DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN FUNCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE FIBRA SINTÉTICA, EN MUESTRAS DE CONCRETO CON RELACIÓN (a/c=0.60)

De A4 y B4 se tienen las siguientes funciones de aproximación:

$$Y_{T(0.60)} = f_{T(0.60)}(X) = 3.4520(X) - 0.3588$$

$$Y_{T(0.60)} = g_{T(0.60)}(X) = 4.3053(X)^2 - 0.8533(X) + 0.0000$$

Con coeficientes de de determinación $R_f^2 = 0.8852$ y $R_g^2 = 1.0000$ respectivamente.

Comparando las funciones y sus valores de coeficientes de determinación, se observó que la función $g_{T(0.60)}(X)$ posee un coeficiente de determinación superior y más cercana a 1, esto convertiría a la función $g_{C(0.60)}(X)$ en la más idónea; sin embargo se observó que para valores de X entre 0.00 - 0.20, $g_{T(0.60)}(X)$ toma valores negativos (representando decremento – ver figura VII-8), este hecho queda en contraposición de la naturaleza creciente de los incrementos porcentuales, quedando en evidencia de que a pesar de tener un coeficiente de determinación de 1, $g_{T(0.60)}(X)$ no realiza una buena aproximación para los valores de X entre 0.00 y 0.50.

Para una mejor aproximación de la función de regresión, se asumió un comportamiento aproximadamente lineal de la curva entre las dosificaciones de 0.00% - 0.50% y en dicho intervalo, por interpolación, se añadió a la tabla de datos para la regresión un nuevo punto y posteriormente se realizó una regresión cubica para una mejor precisión.

Tabla VII.5: Datos previos para el análisis de regresión cúbica, de los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación a/c = 0.60

a/c	DOSIFICACION DE FIBRA (%)	INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO (%)								
	X	Y	X ²	X ³	X ⁴	X ⁵	X*Y	X ² *Y	X ³ *Y	
0.60	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.25	0.32	0.0625	0.0156	0.0039	0.0010	0.0812	0.0203	0.0051	
	0.50	0.65	0.2500	0.1250	0.0625	0.0313	0.3248	0.1624	0.0812	
	1.00	3.45	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	3.4520	3.4520	3.4520	
SUMATORIA	$\sum X_i$	$\sum Y_i$	$\sum X_i^2$	$\sum X_i^3$	$\sum X_i^4$	$\sum X_i^5$	$\sum X_i Y_i$	$\sum X_i^2 Y_i$	$\sum X_i^3 Y_i$	
	1.7500	4.4265	1.3125	1.1406	1.0664	1.0322	3.8580	3.6347	3.5383	

Nota: El punto resaltado, representa el punto añadido por interpolación.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis de regresión cubica y se determinó una función de tercer grado para aproximar: los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c = 0.60.

Se plantea la función cúbica:

$$Y_{T(0.60)} = h_{T(0.60)}(X) = F_{T(0.60)}X^3 + G_{T(0.60)}X^2 + H_{T(0.60)}X + I_{T(0.60)}$$

Luego según un análisis de regresión cúbica de los datos de la tabla VII.5, las constantes $F_{T(0.60)}$, $G_{T(0.60)}$, $H_{T(0.60)}$ y $I_{T(0.60)}$, se calculan y se obtiene:

$$F_{T(0.60)} = +5.7405$$

$$G_{T(0.60)} = -4.3053$$

$$H_{T(0.60)} = +2.0169$$

$$I_{T(0.60)} = 0.0000$$

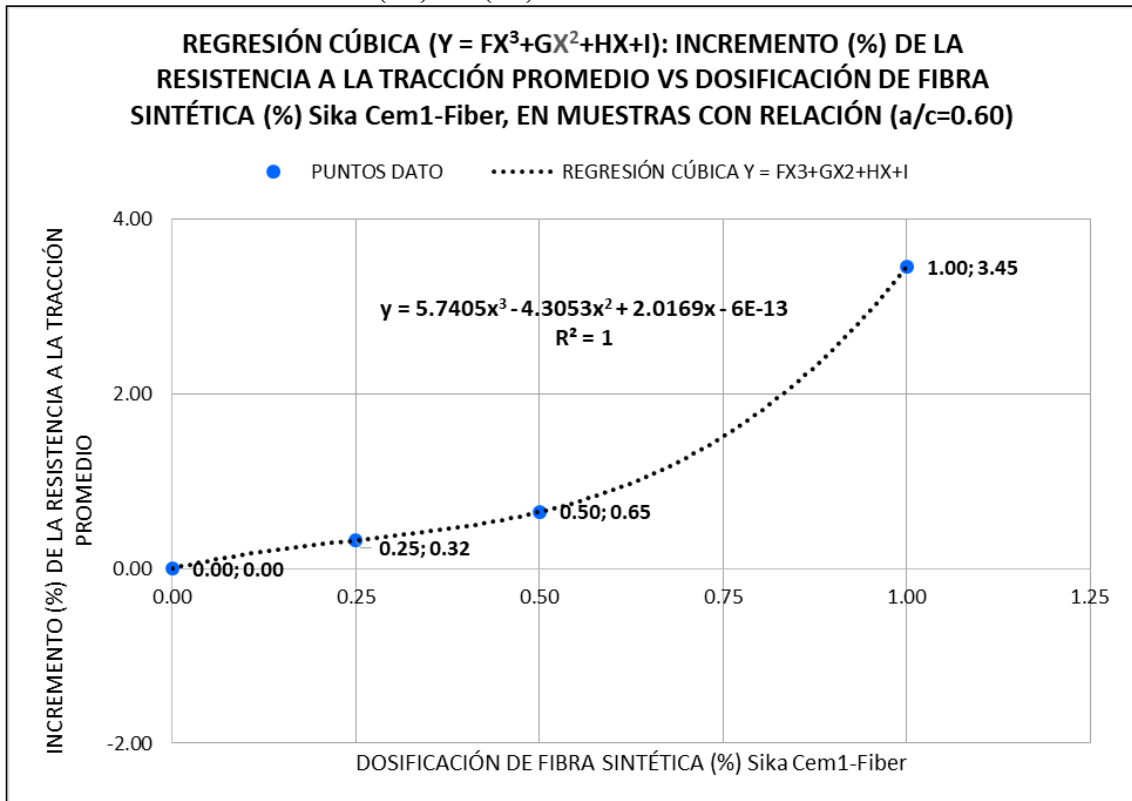
Con los valores de las constantes $F_{T(0.60)}$, $G_{T(0.60)}$, $H_{T(0.60)}$ y $I_{T(0.60)}$ en la función de tercer grado $h_{T(0.60)}(X)$ que aproxima los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{T(0.60)} = h_{T(0.60)}(X) = 5.7405(X)^3 - 4.3053(X)^2 + 2.0169(X) + 0.0000$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación $(R_g)^2$ del análisis de regresión cuadrática, que representa una medida de la aproximación de la función $g_{T(0.60)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_g^2 = \frac{\sum(Y)(h_{T(0.60)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 1.0000$$

Figura VII-9: Grafica de $Y_{T(0.60)} = h_{T(0.60)}(X) = 5.7405X^3 - 4.3053X^2 + 2.0169X + 0.0000$



Nota: Ver nota de Figura VII-7.

Fuente: Elaboración propia.

Reduciendo y redondeando, finalmente la función de aproximación será:

$$Y_{T(0.60)} = 5.74(X)^3 - 4.31(X)^2 + 2.02(X) ; \forall X \in [0.00 ; 1.00]$$

Donde:

X: Dosificación porcentual (%) de fibra sintética (respecto al peso de cemento). Donde X se encuentra en el intervalo [0.00 - 1.00].

$Y_{T(0.60)}$: Incremento porcentual (%) de la resistencia a la tracción promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c = 0.60.

7.2.2. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.65)

Sean las variables X (independiente) e $Y_{T(0.65)}$ (dependiente) donde:

X: Dosificación porcentual de fibra sintética (respecto al peso de cemento).

$Y_{T(0.65)}$: Incremento porcentual de la resistencia a la tracción promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c =0.65

Se presenta la tabla VII.6, como resumen de datos previos, para el análisis de regresión lineal y cuadrática:

Tabla VII.6: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación a/c =0.65

a/c	DOSIFICACION DE FIBRA (%)	INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO (%)						
	X	Y	X ²	X ³	X ⁴	X*Y	X ² *Y	Y ²
0.65	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.50	2.88	0.2500	0.1250	0.0625	1.4384	0.7192	8.2756
	1.00	7.18	1.0000	1.0000	1.0000	7.1763	7.1763	51.4997
SUMATORIA	$\sum X_i$	$\sum Y_i$	$\sum X_i^2$	$\sum X_i^3$	$\sum X_i^4$	$\sum X_i Y_i$	$\sum X_i^2 Y_i$	$\sum Y_i^2$
	1.5000	10.0531	1.2500	1.1250	1.0625	8.6147	7.8955	59.7753

Fuente: Elaboración propia.

A5. REGRESIÓN LINEAL $Y = AX+B$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.65)

Se realizó un análisis de regresión lineal y se determinó una función lineal para aproximar: los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c =0.65.

Se plantea la función lineal:

$$Y_{T(0.65)} = f_{T(0.65)}(X) = A_{T(0.65)}X + B_{T(0.65)}$$

Luego según un análisis de regresión lineal, las constantes $A_{T(0.65)}$ y $B_{T(0.65)}$, se calculan como:

$$A_{T(0.65)} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}$$

$$B_{T(0.65)} = \frac{\sum Y - A_{T(0.65)} \sum X}{n}$$

Donde “n” es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $A_{T(0.65)}$ y $B_{T(0.65)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.6, se tiene:

$$A_{T(0.65)} = \frac{3.7768 - \frac{1.5000 \times 10.0531}{3}}{1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}} = 7.1763$$

$$B_{T(0.65)} = \frac{\sum Y - A_{T(0.65)} \sum X}{n} = \frac{10.0531 - 7.1763 \times 1.5000}{3} = -0.2371$$

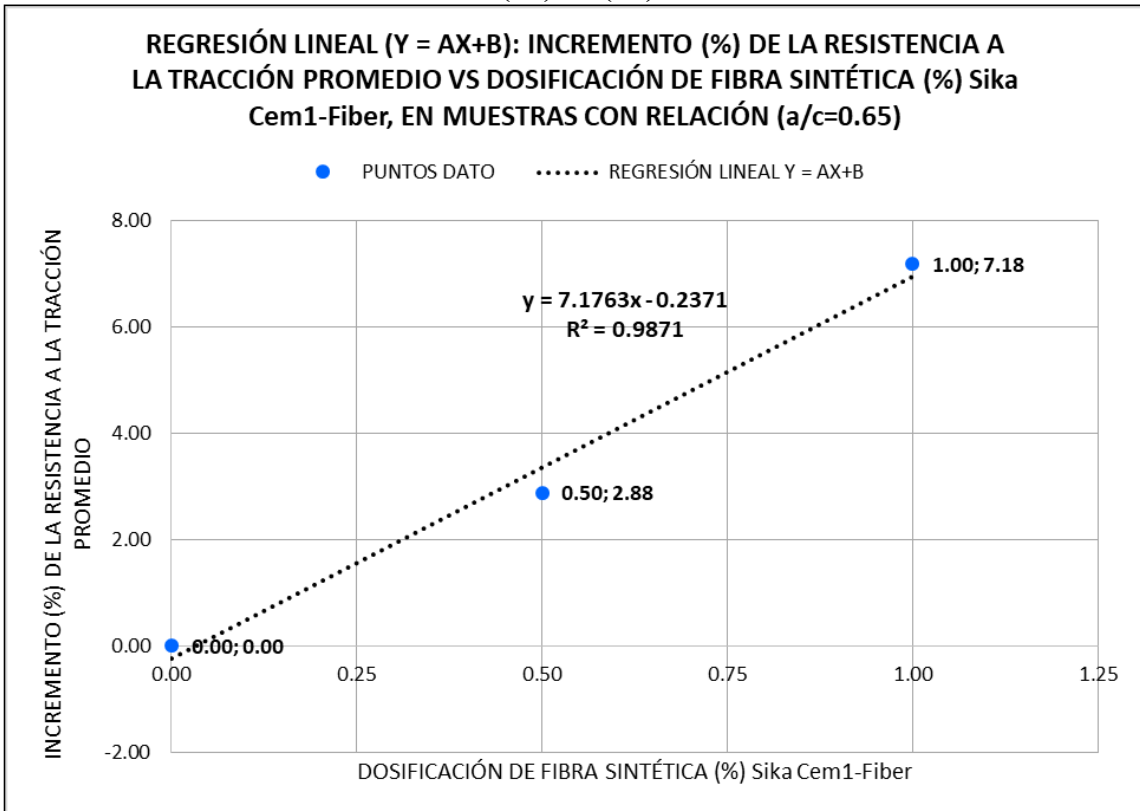
Con los valores de las constantes $A_{T(0.65)}$ y $B_{T(0.65)}$ en la función lineal $f_{T(0.65)}(X)$ que aproxima los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{T(0.65)} = f_{T(0.65)}(X) = 7.1763(X) - 0.2371$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación R^2 del análisis de regresión lineal, que representa una medida de la aproximación de la función $f_{T(0.65)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_f^2 = \frac{\sum(Y)(f_{T(0.65)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 0.9871$$

Figura VII-10: Grafica de $Y_{T(0.65)} = f_{T(0.65)}(X) = 7.1763(X) - 0.2371$



Nota: El análisis de regresión polinómica del incremento (%) de la resistencia a la tracción en muestras con relación (a/c=0.65), se realizó entre las muestras con dosificaciones de fibra de: 0.00%, 0.50%, 1.00% (exceptuando la de 2.00%), como correspondencia al análisis de regresión polinómica del incremento (%) de la resistencia a la compresión, donde se estudiaron valores de dosificación de fibra sintética en el intervalo [0.00-1.00] %.

Fuente: Elaboración propia.

B5. REGRESIÓN CUADRÁTICA $Y = CX^2 + DX + E$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.65)

Se realizó un análisis de regresión cuadrática y se determinó una función de segundo grado para aproximar: los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c = 0.65.

Se plantea la función cuadrática:

$$Y_{T(0.65)} = g_{T(0.65)}(X) = C_{T(0.65)}X^2 + D_{T(0.65)}X + E_{T(0.65)}$$

Luego según un análisis de regresión cuadrática, las constantes $C_{T(0.65)}$, $D_{T(0.65)}$ y $E_{T(0.65)}$, se calculan como:

$$C_{T(0.65)} = \frac{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right) \times \left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$D_{T(0.65)} = \frac{\left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$E_{T(0.65)} = \frac{\sum Y - D_{T(0.65)} \times \sum X - C_{T(0.65)} \times \sum X^2}{n}$$

Donde "n" es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $C_{T(0.65)}$, $D_{T(0.65)}$ y $E_{T(0.65)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.6, se tiene:

$$C_{T(0.65)} = \frac{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(7.8955 - \frac{(1.2500)(10.0531)}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right) \times \left(8.6147 - \frac{(1.5000)(10.0531)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2}$$

$$= 2.8457$$

$$D_{T(0.65)} = \frac{\left(8.6147 - \frac{(1.5000)(10.0531)}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(7.8955 - \frac{(1.2500)(10.0531)}{3}\right) \times \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2}$$

$$= 4.3306$$

$$E_{T(0.65)} = \frac{10.0531 - 4.3306 \times 1.5000 - 2.8457 \times 1.2500}{3} = 0.0000$$

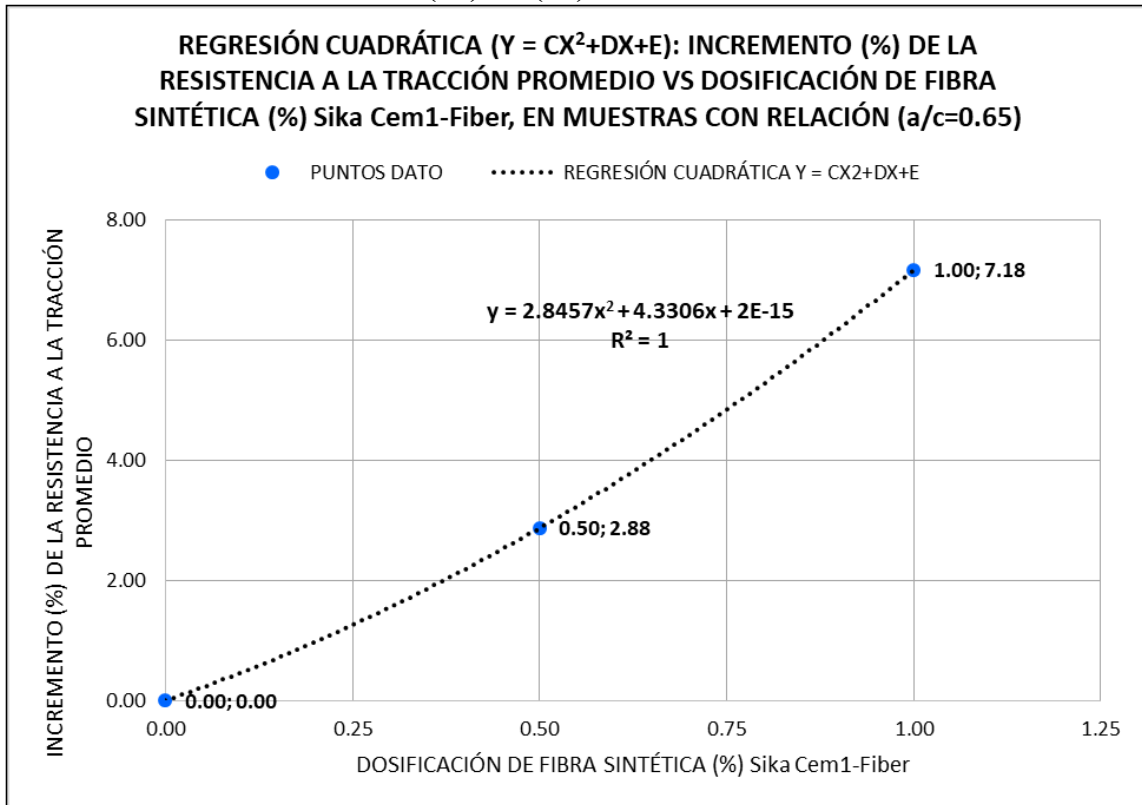
Con los valores de las constantes $C_{T(0.65)}$, $D_{T(0.65)}$ y $E_{T(0.65)}$ en la función de segundo grado $g_{T(0.65)}(X)$ que aproxima los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{T(0.65)} = g_{T(0.65)}(X) = 2.8457(X)^2 + 4.3306(X) + 0.0000$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación $(R_g)^2$ del análisis de regresión cuadrática, que representa una medida de la aproximación de la función $g_{T(0.65)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_g^2 = \frac{\sum(Y)(g_{T(0.65)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 1.0000$$

Figura VII-11: Grafica de $Y_{T(0.65)} = g_{T(0.65)}(X) = 2.8457(X)^2 + 4.3306(X) + 0.0000$



Nota: Ver nota de Figura VII-10.

Fuente: Elaboración propia.

C5. ELECCIÓN DE LA FUNCIÓN DE APROXIMACIÓN IDÓNEA, PARA EL CÁLCULO DEL INCREMENTO PORCENTUAL DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN FUNCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE FIBRA SINTÉTICA, EN MUESTRAS DE CONCRETO CON RELACIÓN (a/c=0.65)

De A5 y B5 se tienen las siguientes funciones de aproximación:

$$Y_{T(0.65)} = f_{T(0.65)}(X) = 7.1763(X) - 0.2371$$

$$Y_{T(0.65)} = g_{T(0.65)}(X) = 2.8457(X)^2 + 4.3306(X) + 0.0000$$

Con coeficientes de determinación $R_f^2 = 0.9871$ y $R_g^2 = 1.0000$ respectivamente.

Comparando las funciones y sus valores de coeficientes de determinación, se observó que la función $g_{T(0.65)}(X)$ posee un coeficiente de determinación superior y más cercano a 1, por lo tanto se eligió la función $g_{T(0.65)}(X)$ como idónea para el cálculo del incremento porcentual de resistencia a la tracción en función de la dosificación porcentual de fibra sintética, en muestras de concreto con relación (a/c=0.65).

$$Y_{T(0.65)} = g_{T(0.65)}(X) = 2.8457(X)^2 + 4.3306(X) + 0.0000$$

$$Y_{T(0.65)} = 2.8457(X)^2 + 4.3306(X) + 0.0000$$

Reduciendo y redondeando, finalmente la función de aproximación será:

$$Y_{T(0.65)} = 2.85(X)^2 + 4.33(X) ; \forall X \in [0.00 ; 1.00]$$

Donde:

X: Dosificación porcentual (%) de fibra sintética (respecto al peso de cemento). Donde X se encuentra en el intervalo [0.00 - 1.00].

$Y_{T(0.65)}$: Incremento porcentual (%) de la resistencia a la tracción promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c = 0.65.

7.2.3. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: LOS INCREMENTOS PORCENTUALES DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.70)

Sean las variables X (independiente) e $Y_{T(0.70)}$ (dependiente) donde:

X: Dosificación porcentual de fibra sintética (respecto al peso de cemento).

$Y_{T(0.70)}$: Incremento porcentual de la resistencia a la tracción promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c =0.70

Se presenta la tabla VII.7, como resumen de datos previos, para el análisis de regresión lineal y cuadrática:

Tabla VII.7: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación a/c =0.70

a/c	DOSIFICACION DE FIBRA (%)	INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PROMEDIO (%)						
	X	Y	X ²	X ³	X ⁴	X*Y	X ² *Y	Y ²
0.70	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.50	4.49	0.2500	0.1250	0.0625	2.2431	1.1216	20.1268
	1.00	15.54	1.0000	1.0000	1.0000	15.5377	15.5377	241.4206
SUMATORIA	$\sum X_i$	$\sum Y_i$	$\sum X_i^2$	$\sum X_i^3$	$\sum X_i^4$	$\sum X_i Y_i$	$\sum X_i^2 Y_i$	$\sum Y_i^2$
	1.5000	20.0240	1.2500	1.1250	1.0625	17.7809	16.6593	261.5474

Fuente: Elaboración propia.

A6. REGRESIÓN LINEAL $Y = AX+B$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.70)

Se realizó un análisis de regresión lineal y se determinó una función lineal para aproximar: los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c =0.70.

Se plantea la función lineal:

$$Y_{T(0.70)} = f_{T(0.70)}(X) = A_{T(0.70)}X + B_{T(0.70)}$$

Luego según un análisis de regresión lineal, las constantes $A_{T(0.70)}$ y $B_{T(0.70)}$, se calculan como:

$$A_{T(0.70)} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}$$

$$B_{T(0.70)} = \frac{\sum Y - A_{T(0.70)} \sum X}{n}$$

Donde “n” es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $A_{T(0.70)}$ y $B_{T(0.70)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.7, se tiene:

$$A_{T(0.70)} = \frac{17.7809 - \frac{1.5000 \times 20.0240}{3}}{1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}} = 15.5377$$

$$B_{T(0.70)} = \frac{\sum Y - A_{T(0.70)} \sum X}{n} = \frac{20.0240 - 15.5377 \times 1.5000}{3} = -1.0942$$

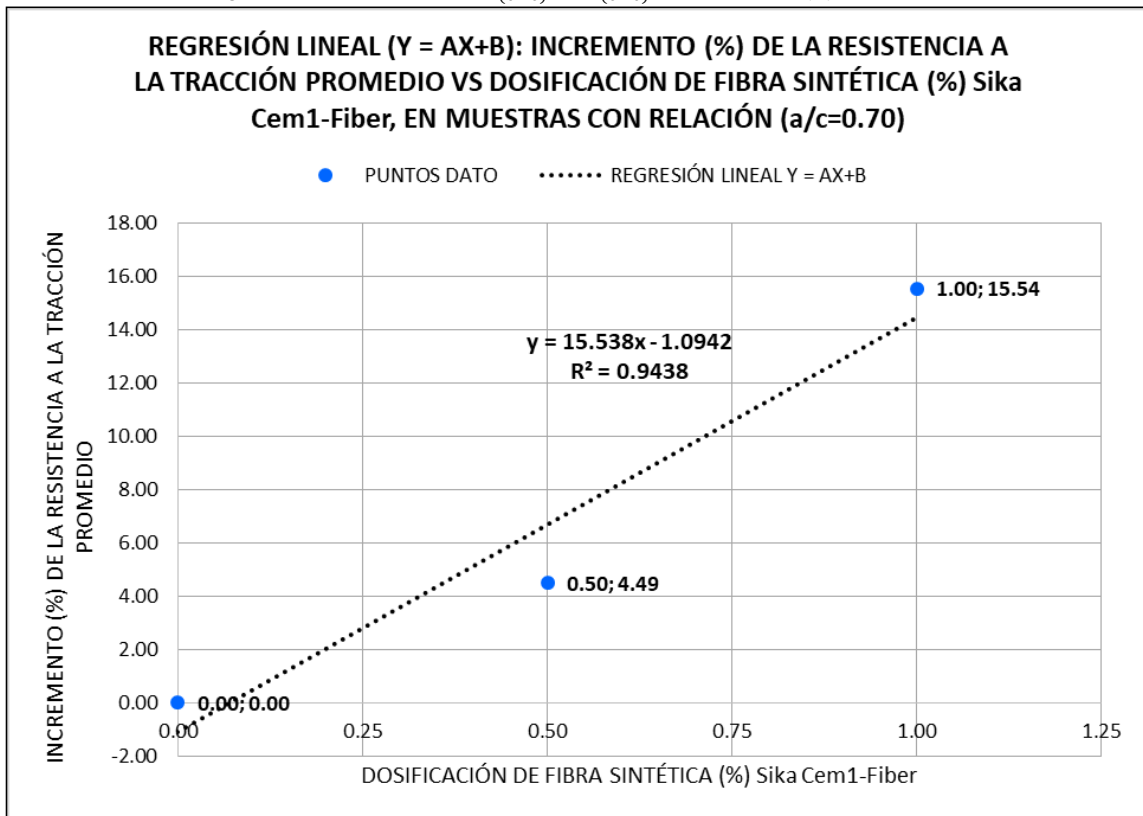
Con los valores de las constantes $A_{T(0.70)}$ y $B_{T(0.70)}$ en la función lineal $f_{T(0.70)}(X)$ que aproxima los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{T(0.70)} = f_{T(0.70)}(X) = 15.5377(X) - 1.0942$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación R^2 del análisis de regresión lineal, que representa una medida de la aproximación de la función $f_{T(0.70)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_f^2 = \frac{\sum(Y)(f_{T(0.70)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 0.9438$$

Figura VII-12: Grafica de $Y_{T(0.70)} = f_{T(0.70)}(X) = 15.5377(X) - 1.0942$



Nota: El análisis de regresión polinómica del incremento (%) de la resistencia a la tracción en muestras con relación (a/c=0.70), se realizó entre las muestras con dosificaciones de fibra de: 0.00%, 0.50%, 1.00% (exceptuando la de 2.00%), como correspondencia al análisis de regresión polinómica del incremento (%) de la resistencia a la compresión, donde se estudiaron valores de dosificación de fibra sintética en el intervalo [0.00-1.00] %.

Fuente: Elaboración propia.

B6. REGRESIÓN CUADRÁTICA $Y = CX^2 + DX + E$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.70)

Se realizó un análisis de regresión cuadrática y se determinó una función de segundo grado para aproximar: los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c = 0.70.

Se plantea la función cuadrática:

$$Y_{T(0.70)} = g_{T(0.70)}(X) = C_{T(0.70)}X^2 + D_{T(0.70)}X + E_{T(0.70)}$$

Luego según un análisis de regresión cuadrática, las constantes $C_{T(0.70)}$, $D_{T(0.70)}$ y $E_{T(0.70)}$, se calculan como:

$$C_{T(0.70)} = \frac{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right) \times \left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$D_{T(0.70)} = \frac{\left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$E_{T(0.65)} = \frac{\sum Y - D_{T(0.70)} \times \sum X - C_{T(0.70)} \times \sum X^2}{n}$$

Donde "n" es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $C_{T(0.70)}$, $D_{T(0.70)}$ y $E_{T(0.70)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.7, se tiene:

$$C_{T(0.70)} = \frac{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(16.6593 - \frac{(1.2500)(20.0240)}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right) \times \left(17.7809 - \frac{(1.5000)(20.0240)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2}$$

$$= 13.1303$$

$$D_{T(0.70)} = \frac{\left(17.7809 - \frac{(1.5000)(20.0240)}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(16.6593 - \frac{(1.2500)(20.0240)}{3}\right) \times \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2}$$

$$= 2.4074$$

$$E_{T(0.70)} = \frac{20.0240 - 2.4074 \times 1.5000 - 13.1303 \times 1.2500}{3} = 0.0000$$

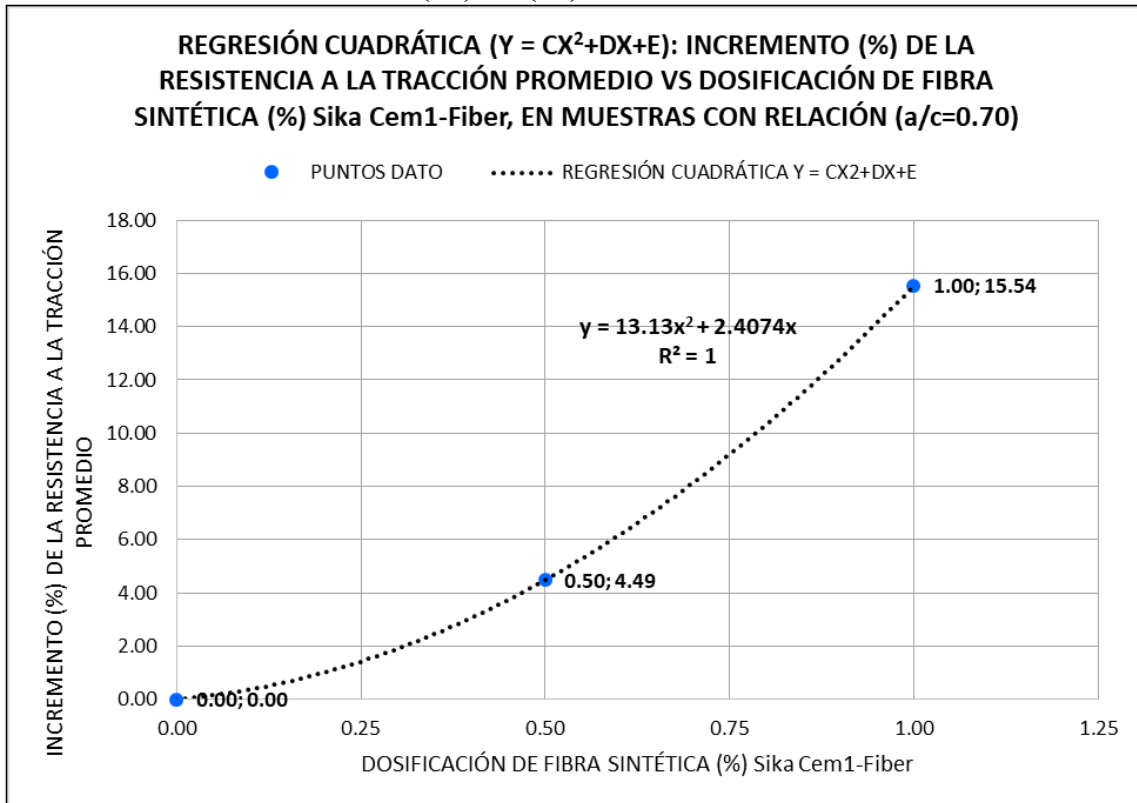
Con los valores de las constantes $C_{T(0.70)}$, $D_{T(0.70)}$ y $E_{T(0.70)}$ en la función de segundo grado $g_{T(0.70)}(X)$ que aproxima los incrementos porcentuales de resistencia a la tracción (Y) promedio, en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{T(0.70)} = g_{T(0.70)}(X) = 13.1303(X)^2 + 2.4074(X) + 0.0000$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación $(R_g)^2$ del análisis de regresión cuadrática, que representa una medida de la aproximación de la función $g_{T(0.70)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_g^2 = \frac{\sum(Y)(g_{T(0.70)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 1.0000$$

Figura VII-13: Grafica de $Y_{T(0.70)} = g_{T(0.70)}(X) = 13.1303(X)^2 + 2.4074(X) + 0.0000$



Nota: Ver nota de Figura VII-12.

Fuente: Elaboración propia.

C6. ELECCIÓN DE LA FUNCIÓN DE APROXIMACIÓN IDÓNEA, PARA EL CÁLCULO DEL INCREMENTO PORCENTUAL DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN FUNCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE FIBRA SINTÉTICA, EN MUESTRAS DE CONCRETO CON RELACIÓN (a/c=0.70)

De A6 y B6 se tienen las siguientes funciones de aproximación:

$$Y_{T(0.70)} = f_{T(0.70)}(X) = 15.5377(X) - 1.0942$$

$$Y_{T(0.70)} = g_{T(0.70)}(X) = 13.1303(X)^2 + 2.4074(X) + 0.0000$$

Con coeficientes de determinación $R_f^2 = 0.9438$ y $R_g^2 = 1.0000$ respectivamente.

Comparando las funciones y sus valores de coeficientes de determinación, se observó que la función $g_{T(0.70)}(X)$ posee un coeficiente de determinación superior y más cercano a 1, por lo tanto se eligió la función $g_{T(0.70)}(X)$ como idónea para el cálculo del incremento porcentual de resistencia a la tracción en función de la dosificación porcentual de fibra sintética, en muestras de concreto con relación (a/c=0.70).

$$Y_{T(0.70)} = g_{T(0.70)}(X) = 13.1303(X)^2 + 2.4074(X) + 0.0000$$

$$Y_{T(0.70)} = 13.1303(X)^2 + 2.4074(X) + 0.0000$$

Reduciendo y redondeando, finalmente la función de aproximación será:

$$Y_{T(0.70)} = 13.13(X)^2 + 2.41(X) ; \forall X \in [0.00 ; 1.00]$$

Donde:

X: Dosificación porcentual (%) de fibra sintética (respecto al peso de cemento). Donde X se encuentra en el intervalo [0.00 - 1.00].

$Y_{T(0.70)}$: Incremento porcentual (%) de la resistencia a la tracción promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c =0.70.

7.3. ANÁLISIS DE REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: PÉRDIDA PORCENTUAL DE ASENTAMIENTO O SLUMP VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA.

7.3.1. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: PÉRDIDA PORCENTUAL DE ASENTAMIENTO O SLUMP VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.60)

Sean las variables X (independiente) e $Y_{A(0.60)}$ (dependiente) donde:

X: Dosificación porcentual de fibra sintética (respecto al peso de cemento).

$Y_{A(0.60)}$: Pérdida porcentual de asentamiento o slump promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c =0.60

Se presenta la tabla VII.8, como resumen de datos previos, para el análisis de regresión lineal y cuadrática:

Tabla VII.8: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de la pérdida porcentual del asentamiento o slump versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación a/c =0.60

a/c	DOSIFICACION DE FIBRA (%)	PÉRDIDA DE ASENTAMIENTO O SLUMP PROMEDIO (%)						
	X	Y	X ²	X ³	X ⁴	X*Y	X ² *Y	Y ²
0.60	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.50	43.00	0.2500	0.1250	0.0625	21.5000	10.7500	1849.0000
	1.00	66.00	1.0000	1.0000	1.0000	66.0000	66.0000	4356.0000
SUMATORIA	$\sum X_i$	$\sum Y_i$	$\sum X_i^2$	$\sum X_i^3$	$\sum X_i^4$	$\sum X_i Y_i$	$\sum X_i^2 Y_i$	$\sum Y_i^2$
	1.5000	109.0000	1.2500	1.1250	1.0625	87.5000	76.7500	6205.0000

Fuente: Elaboración propia.

A7. REGRESIÓN LINEAL $Y = AX+B$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.60)

Se realizó un análisis de regresión lineal y se determinó una función lineal para aproximar: pérdida porcentual de asentamiento o slump promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c =0.60.

Se plantea la función lineal:

$$Y_{A(0.60)} = f_{A(0.60)}(X) = A_{A(0.60)}X + B_{A(0.60)}$$

Luego según un análisis de regresión lineal, las constantes $A_{A(0.60)}$ y $B_{A(0.60)}$, se calculan como:

$$A_{A(0.60)} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}$$

$$B_{A(0.60)} = \frac{\sum Y - A_{A(0.60)} \sum X}{n}$$

Donde “n” es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $A_{A(0.60)}$ y $B_{A(0.60)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.8, se tiene:

$$A_{A(0.60)} = \frac{87.5000 - \frac{1.5000 \times 109.0000}{3}}{1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}} = 66.0000$$

$$B_{A(0.60)} = \frac{\sum Y - A_{A(0.60)} \sum X}{n} = \frac{109.0000 - 66.0000 \times 1.5000}{3} = 3.3333$$

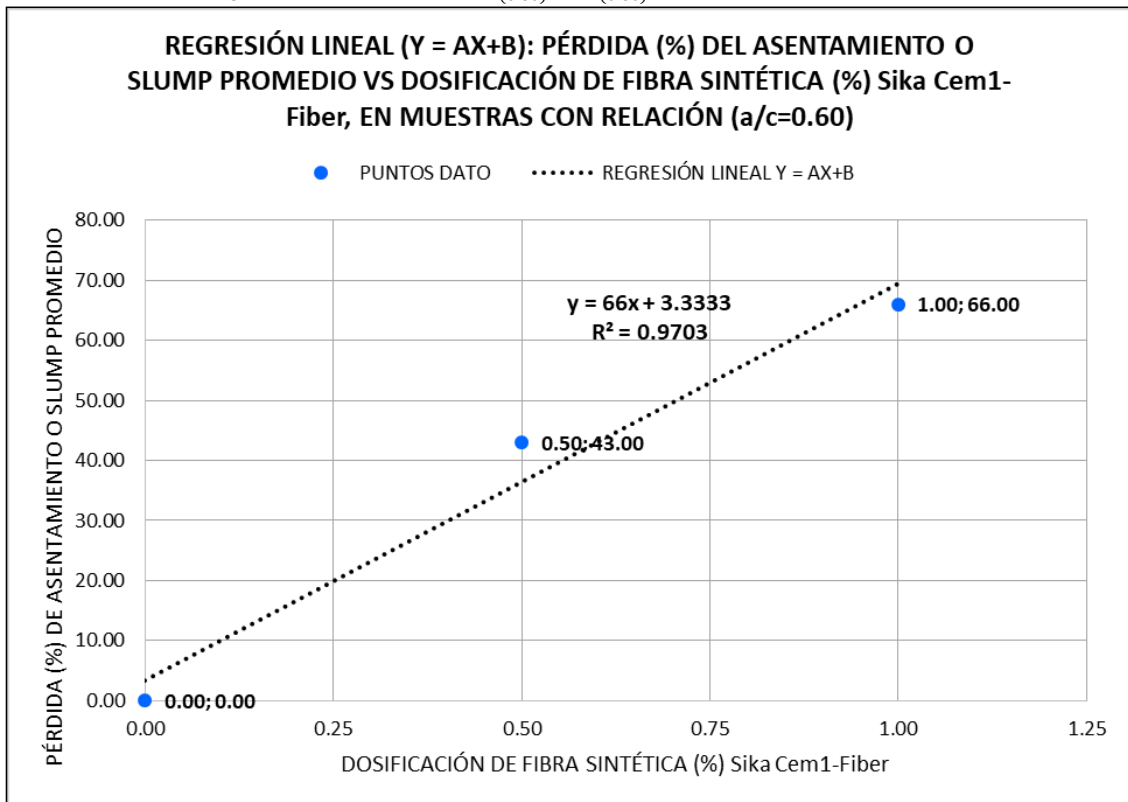
Con los valores de las constantes $A_{A(0.60)}$ y $B_{A(0.60)}$ en la función lineal $f_{A(0.60)}(X)$ que aproxima la pérdida porcentual de asentamiento o slump promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{A(0.60)} = f_{A(0.60)}(X) = 66.0000(X) + 3.3333$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación R^2 del análisis de regresión lineal, que representa una medida de la aproximación de la función $f_{A(0.60)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_f^2 = \frac{\sum(Y)(f_{A(0.60)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 0.9703$$

Figura VII-14: Grafica de $Y_{A(0.60)} = f_{A(0.60)}(X) = 66.0000(X) + 3.3333$



Nota: El análisis de regresión polinómica de la pérdida (%) del asentamiento o slump promedio en muestras con relación (a/c=0.60), se realizó entre las muestras con dosificaciones de fibra de: 0.00%, 0.50%, 1.00% (exceptuando la de 2.00%), como correspondencia al análisis de regresión polinómica del incremento (%) de la resistencia a la compresión, donde se estudiaron valores de dosificación de fibra sintética en el intervalo [0.00-1.00]%.

Fuente: Elaboración propia.

B7. REGRESIÓN CUADRÁTICA $Y = CX^2 + DX + E$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.60)

Se realizó un análisis de regresión cuadrática y se determinó una función de segundo grado para aproximar: pérdida porcentual de asentamiento o slump promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c = 0.60.

Se plantea la función cuadrática:

$$Y_{A(0.60)} = g_{A(0.60)}(X) = C_{A(0.60)}X^2 + D_{A(0.60)}X + E_{A(0.60)}$$

Luego según un análisis de regresión cuadrática, las constantes $C_{A(0.60)}$, $D_{A(0.60)}$ y $E_{A(0.60)}$, se calculan como:

$$C_{A(0.60)} = \frac{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right) \times \left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$D_{A(0.60)} = \frac{\left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$E_{A(0.60)} = \frac{\sum Y - D_{A(0.60)} \times \sum X - C_{A(0.60)} \times \sum X^2}{n}$$

Donde "n" es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $C_{A(0.60)}$, $D_{A(0.60)}$ y $E_{A(0.60)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.8, se tiene:

$$C_{A(0.60)} = \frac{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(76.7500 - \frac{(1.2500)(109.0000)}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right) \times \left(87.5000 - \frac{(1.5000)(109.0000)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2}$$

= -40.0000

$$D_{A(0.60)} = \frac{\left(87.5000 - \frac{(1.5000)(109.0000)}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(76.7500 - \frac{(1.2500)(109.0000)}{3}\right) \times \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2}$$

= 106.0000

$$E_{A(0.60)} = \frac{109.0000 - 106.0000 \times 1.5000 + 40.0000 \times 1.2500}{3} = 0.0000$$

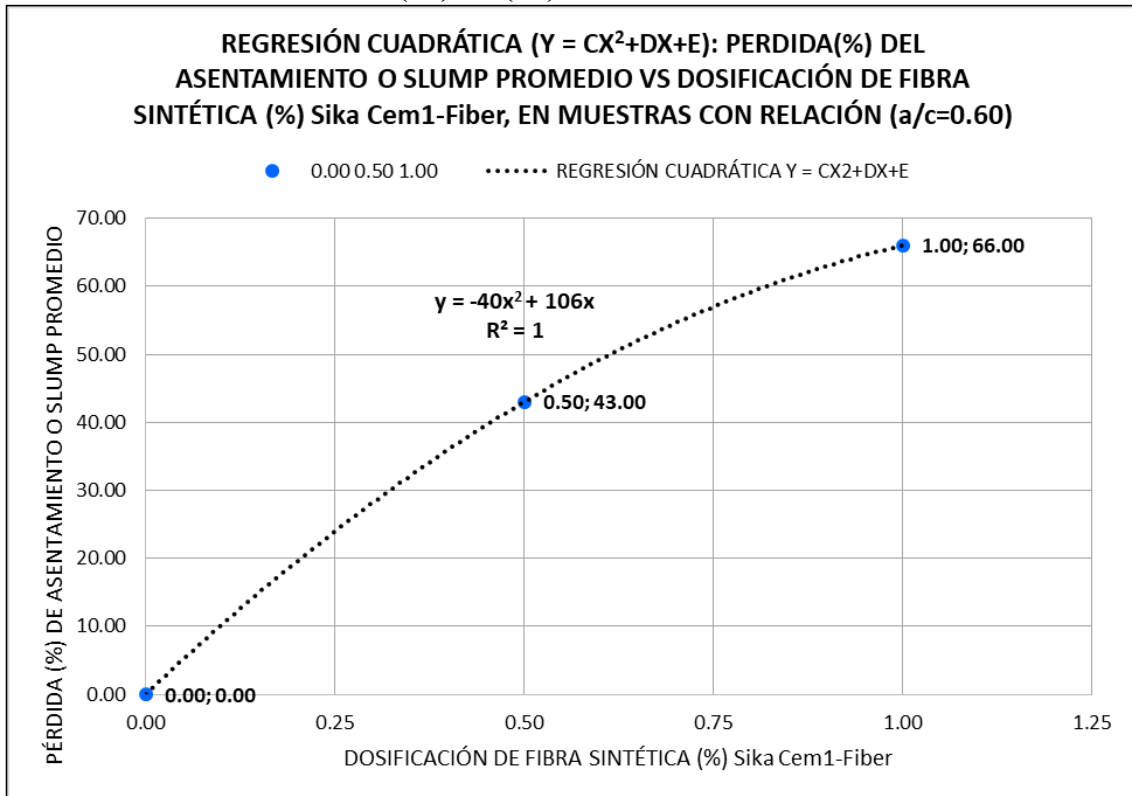
Con los valores de las constantes $C_{A(0.60)}$, $D_{A(0.60)}$ y $E_{A(0.60)}$ en la función de segundo grado $g_{A(0.60)}(X)$ que aproxima la pérdida de asentamiento o slump promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{A(0.60)} = g_{A(0.60)}(X) = -40.0000(X)^2 + 106.0000(X) + 0.0000$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación $(R_g)^2$ del análisis de regresión cuadrática, que representa una medida de la aproximación de la función $g_{A(0.60)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_g^2 = \frac{\sum(Y)(g_{A(0.60)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 1.0000$$

Figura VII-15: Gráfica de $Y_{A(0.60)} = g_{A(0.60)}(X) = -40.0000(X)^2 + 106.0000(X) + 0.0000$



Nota: Ver nota de Figura VII-14.

Fuente: Elaboración propia.

C7. ELECCIÓN DE LA FUNCIÓN DE APROXIMACIÓN IDÓNEA, PARA EL CÁLCULO DE LA PÉRDIDA PORCENTUAL DE ASENTAMIENTO O SLUMP EN FUNCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE FIBRA SINTÉTICA, EN MUESTRAS DE CONCRETO CON RELACIÓN (a/c=0.60)

De A7 y B7 se tienen las siguientes funciones de aproximación:

$$Y_{A(0.60)} = f_{A(0.60)}(X) = 66.0000(X) + 3.3333$$

$$Y_{A(0.60)} = g_{A(0.60)}(X) = -40.0000(X)^2 + 106.0000(X) + 0.0000$$

Con coeficientes de determinación $R_f^2 = 0.9703$ y $R_g^2 = 1.0000$ respectivamente.

Comparando las funciones y sus valores de coeficientes de determinación, se observó que la función $g_{A(0.60)}(X)$ posee un coeficiente de determinación superior y más cercano a 1, por lo tanto se eligió la función $g_{A(0.60)}(X)$ como idónea para el cálculo la pérdida porcentual de asentamiento o slump en función de la dosificación porcentual de fibra sintética, en muestras de concreto con relación (a/c=0.60).

$$Y_{A(0.60)} = g_{A(0.60)}(X) = -40.0000(X)^2 + 106.0000(X) + 0.0000$$

$$Y_{A(0.60)} = -40.0000(X)^2 + 106.0000(X) + 0.0000$$

Reduciendo y redondeando, finalmente la función de aproximación será:

$$Y_{A(0.60)} = -40(X)^2 + 106(X) ; \forall X \in [0.00 ; 1.00]$$

Donde:

X: Dosificación porcentual (%) de fibra sintética (respecto al peso de cemento). Donde X se encuentra en el intervalo [0.00 - 1.00].

$Y_{A(0.60)}$: Pérdida porcentual (%) del asentamiento o slump promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c = 0.60.

7.3.2. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: PÉRDIDA PORCENTUAL DE ASENTAMIENTO O SLUMP VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.65)

Sean las variables X (independiente) e $Y_{A(0.65)}$ (dependiente) donde:

X: Dosificación porcentual de fibra sintética (respecto al peso de cemento).

$Y_{A(0.65)}$: Pérdida porcentual de asentamiento o slump promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c =0.65

Se presenta la tabla VII.9, como resumen de datos previos, para el análisis de regresión lineal y cuadrática:

Tabla VII.9: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de la pérdida porcentual del asentamiento o slump versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación a/c =0.65

a/c	DOSIFICACION DE FIBRA (%)	DECREMENTO DEL ASENTAMIENTO PROMEDIO (%)						
	X	Y	X ²	X ³	X ⁴	X*Y	X ² *Y	Y ²
0.65	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.50	40.00	0.2500	0.1250	0.0625	20.0000	10.0000	1600.0000
	1.00	63.00	1.0000	1.0000	1.0000	63.0000	63.0000	3969.0000
SUMATORIA	$\sum X_i$	$\sum Y_i$	$\sum X_i^2$	$\sum X_i^3$	$\sum X_i^4$	$\sum X_i Y_i$	$\sum X_i^2 Y_i$	$\sum Y_i^2$
	1.5000	103.0000	1.2500	1.1250	1.0625	83.0000	73.0000	5569.0000

Fuente: Elaboración propia.

A8. REGRESIÓN LINEAL $Y = AX+B$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.65)

Se realizó un análisis de regresión lineal y se determinó una función lineal para aproximar: pérdida porcentual de asentamiento o slump promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c =0.65.

Se plantea la función lineal:

$$Y_{A(0.65)} = f_{A(0.65)}(X) = A_{A(0.65)}X + B_{A(0.65)}$$

Luego según un análisis de regresión lineal, las constantes $A_{A(0.65)}$ y $B_{A(0.65)}$, se calculan como:

$$A_{A(0.65)} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}$$

$$B_{A(0.65)} = \frac{\sum Y - A_{A(0.65)} \sum X}{n}$$

Donde “n” es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $A_{A(0.65)}$ y $B_{A(0.65)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.9, se tiene:

$$A_{A(0.65)} = \frac{83.0000 - \frac{1.5000 \times 103.0000}{3}}{1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}} = 63.0000$$

$$B_{A(0.65)} = \frac{\sum Y - A_{A(0.65)} \sum X}{n} = \frac{103.0000 - 63.0000 \times 1.5000}{3} = 2.8333$$

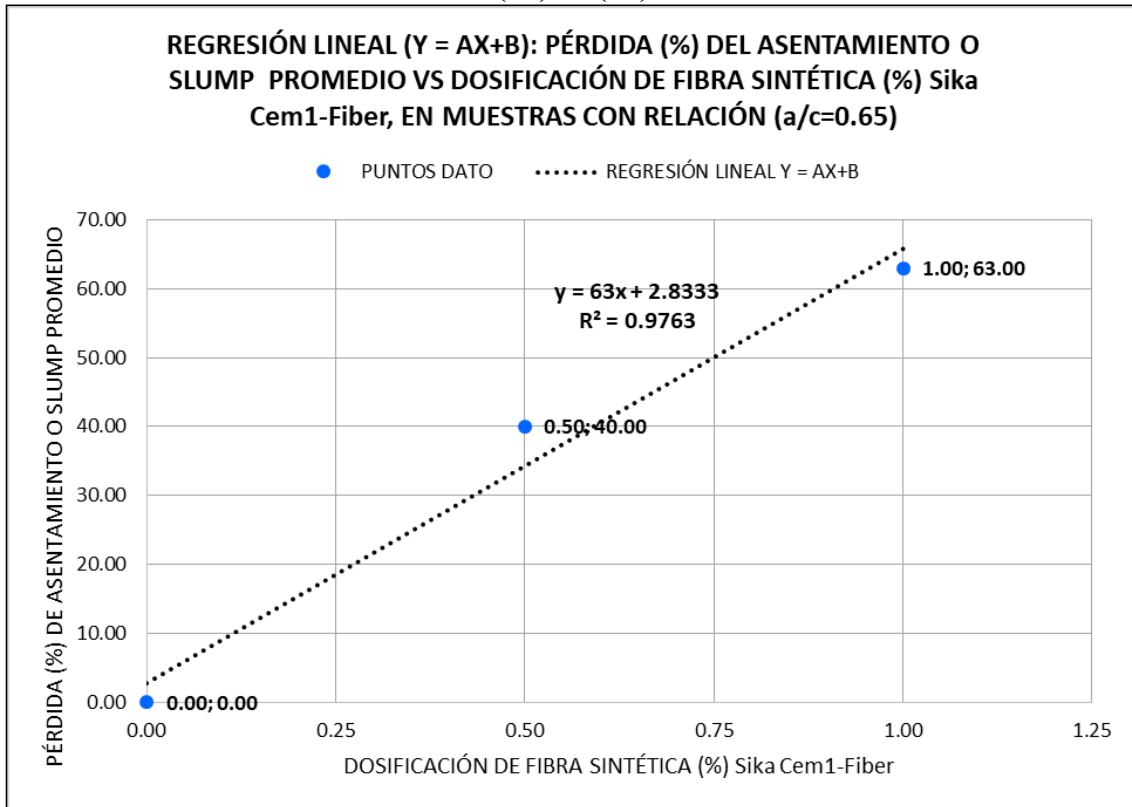
Con los valores de las constantes $A_{A(0.65)}$ y $B_{A(0.65)}$ en la función lineal $f_{A(0.65)}(X)$ que aproxima la pérdida porcentual de asentamiento o slump promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{A(0.65)} = f_{A(0.65)}(X) = 63.0000(X) + 2.8333$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación R^2 del análisis de regresión lineal, que representa una medida de la aproximación de la función $f_{A(0.65)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_f^2 = \frac{\sum(Y)(f_{A(0.65)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 0.9763$$

Figura VII-16: Grafica de $Y_{A(0.65)} = f_{A(0.65)}(X) = 63.0000(X) + 2.8333$



Nota: El análisis de regresión polinómica de la pérdida (%) del asentamiento o slump promedio en muestras con relación (a/c=0.65), se realizó entre las muestras con dosificaciones de fibra de: 0.00%, 0.50%, 1.00% (exceptuando la de 2.00%), como correspondencia al análisis de regresión polinómica del incremento (%) de la resistencia a la compresión, donde se estudiaron valores de dosificación de fibra sintética en el intervalo [0.00-1.00]%.

Fuente: Elaboración propia.

B8. REGRESIÓN CUADRÁTICA $Y = CX^2 + DX + E$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.65)

Se realizó un análisis de regresión cuadrática y se determinó una función de segundo grado para aproximar: pérdida porcentual de asentamiento o slump promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c = 0.65.

Se plantea la función cuadrática:

$$Y_{A(0.65)} = g_{A(0.65)}(X) = C_{A(0.65)}X^2 + D_{A(0.65)}X + E_{A(0.65)}$$

Luego según un análisis de regresión cuadrática, las constantes $C_{A(0.65)}$, $D_{A(0.65)}$ y $E_{A(0.65)}$, se calculan como:

$$C_{A(0.65)} = \frac{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right) \times \left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$D_{A(0.65)} = \frac{\left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$E_{A(0.65)} = \frac{\sum Y - D_{A(0.65)} \times \sum X - C_{A(0.65)} \times \sum X^2}{n}$$

Donde "n" es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $C_{A(0.65)}$, $D_{A(0.65)}$ y $E_{A(0.65)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.9, se tiene:

$$C_{A(0.65)} = \frac{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(73.0000 - \frac{(1.2500)(103.0000)}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right) \times \left(83.0000 - \frac{(1.5000)(103.0000)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2}$$

= -34.0000

$$D_{A(0.65)} = \frac{\left(83.0000 - \frac{(1.5000)(103.0000)}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(73.0000 - \frac{(1.2500)(103.0000)}{3}\right) \times \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2}$$

= 97.0000

$$E_{A(0.65)} = \frac{103.0000 - 97.0000 \times 1.5000 + 34.0000 \times 1.2500}{3} = 0.0000$$

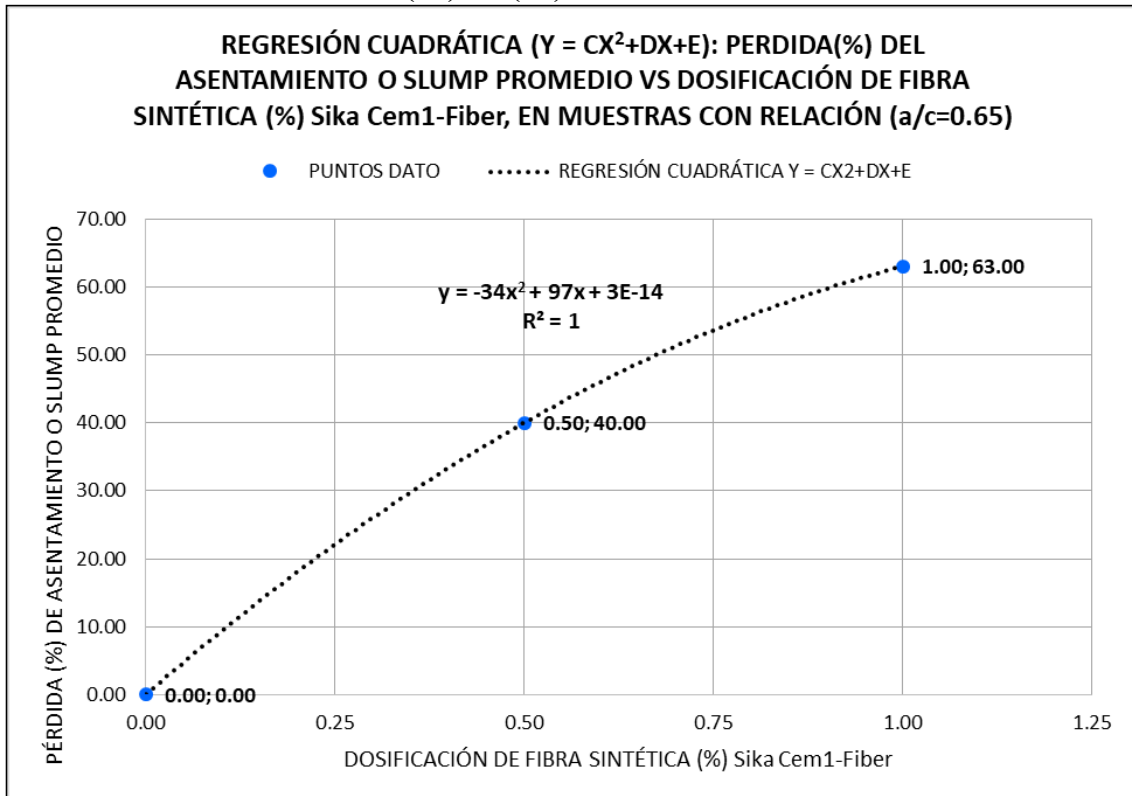
Con los valores de las constantes $C_{A(0.65)}$, $D_{A(0.65)}$ y $E_{A(0.65)}$ en la función de segundo grado $g_{A(0.65)}(X)$ que aproxima la pérdida de asentamiento o slump promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{A(0.65)} = g_{A(0.65)}(X) = -34.0000(X)^2 + 97.0000(X) + 0.0000$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación (R_g^2) del análisis de regresión cuadrática, que representa una medida de la aproximación de la función $g_{A(0.65)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_g^2 = \frac{\sum(Y)(g_{A(0.65)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 1.0000$$

Figura VII-17: Grafica de $Y_{A(0.65)} = g_{A(0.65)}(X) = -34.0000(X)^2 + 97.0000(X) + 0.0000$



Nota: Ver nota de Figura VII-16.

Fuente: Elaboración propia.

C8. ELECCIÓN DE LA FUNCIÓN DE APROXIMACIÓN IDÓNEA, PARA EL CÁLCULO DE LA PÉRDIDA PORCENTUAL DE ASENTAMIENTO O SLUMP EN FUNCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE FIBRA SINTÉTICA, EN MUESTRAS DE CONCRETO CON RELACIÓN (a/c=0.65)

De A8 y B8 se tienen las siguientes funciones de aproximación:

$$Y_{A(0.65)} = f_{A(0.65)}(X) = 63.0000(X) + 2.8333$$

$$Y_{A(0.65)} = g_{A(0.65)}(X) = -34.0000(X)^2 + 97.0000(X) + 0.0000$$

Con coeficientes de de determinación $R_f^2 = 0.9763$ y $R_g^2 = 1.0000$ respectivamente.

Comparando las funciones y sus valores de coeficientes de determinación, se observó que la función $g_{A(0.65)}(X)$ posee un coeficiente de determinación superior y más cercano a 1, por lo tanto se eligió la función $g_{A(0.65)}(X)$ como idónea para el cálculo la pérdida porcentual de asentamiento o slump en función de la dosificación porcentual de fibra sintética, en muestras de concreto con relación (a/c=0.65).

$$Y_{A(0.65)} = g_{A(0.65)}(X) = -34.0000(X)^2 + 97.0000(X) + 0.0000$$

$$Y_{A(0.65)} = -34.0000(X)^2 + 97.0000(X) + 0.0000$$

Reduciendo y redondeando, finalmente la función de aproximación será:

$$Y_{A(0.65)} = -34(X)^2 + 97(X) ; \forall X \in [0.00 ; 1.00]$$

Donde:

X: Dosificación porcentual (%) de fibra sintética (respecto al peso de cemento). Donde X se encuentra en el intervalo [0.00 - 1.00].

$Y_{A(0.65)}$: Pérdida porcentual (%) del asentamiento o slump promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c = 0.65.

7.3.3. REGRESIÓN POLINÓMICA ENTRE: PÉRDIDA PORCENTUAL DE ASENTAMIENTO O SLUMP VERSUS LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE LA FIBRA SINTÉTICA, PARA MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.70)

Sean las variables X (independiente) e $Y_{A(0.70)}$ (dependiente) donde:

X: Dosificación porcentual de fibra sintética (respecto al peso de cemento).

$Y_{A(0.70)}$: Pérdida porcentual de asentamiento o slump promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c =0.70.

Se presenta la tabla VII.10, como resumen de datos previos, para el análisis de regresión lineal y cuadrática:

Tabla VII.10: Datos previos para el análisis de regresión lineal y cuadrática, de la pérdida porcentual del asentamiento o slump versus la dosificación porcentual de la fibra sintética, en muestras de concreto con relación a/c =0.70

a/c	DOSIFICACION DE FIBRA (%)	DECREMENTO DEL ASENTAMIENTO PROMEDIO (%)						
	X	Y	X ²	X ³	X ⁴	X*Y	X ² *Y	Y ²
0.70	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.50	36.00	0.2500	0.1250	0.0625	18.0000	9.0000	1296.0000
	1.00	58.00	1.0000	1.0000	1.0000	58.0000	58.0000	3364.0000
SUMATORIA	$\sum X_i$	$\sum Y_i$	$\sum X_i^2$	$\sum X_i^3$	$\sum X_i^4$	$\sum X_i Y_i$	$\sum X_i^2 Y_i$	$\sum Y_i^2$
	1.5000	94.0000	1.2500	1.1250	1.0625	76.0000	67.0000	4660.0000

Fuente: Elaboración propia.

A9. REGRESIÓN LINEAL $Y = AX+B$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.70)

Se realizó un análisis de regresión lineal y se determinó una función lineal para aproximar: pérdida porcentual de asentamiento o slump promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c =0.70.

Se plantea la función lineal:

$$Y_{A(0.70)} = f_{A(0.70)}(X) = A_{A(0.70)}X + B_{A(0.70)}$$

Luego según un análisis de regresión lineal, las constantes $A_{A(0.70)}$ y $B_{A(0.70)}$, se calculan como:

$$A_{A(0.70)} = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}$$

$$B_{A(0.70)} = \frac{\sum Y - A_{A(0.65)} \sum X}{n}$$

Donde “n” es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $A_{A(0.65)}$ y $B_{A(0.65)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.10, se tiene:

$$A_{A(0.70)} = \frac{76.0000 - \frac{1.5000 \times 94.0000}{3}}{1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}} = 58.0000$$

$$B_{A(0.70)} = \frac{\sum Y - A_{A(0.70)} \sum X}{n} = \frac{94.0000 - 58.0000 \times 1.5000}{3} = 2.3333$$

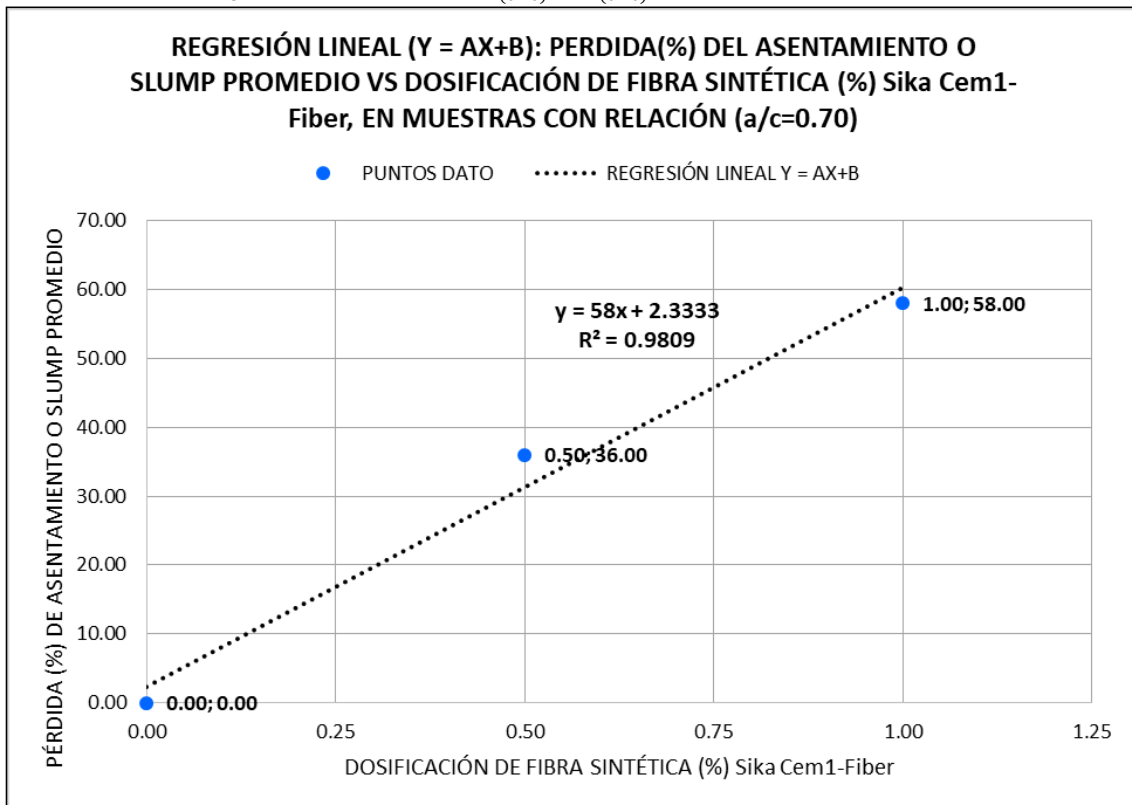
Con los valores de las constantes $A_{A(0.70)}$ y $B_{A(0.70)}$ en la función lineal $f_{A(0.70)}(X)$ que aproxima la pérdida porcentual de asentamiento o slump promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{A(0.70)} = f_{A(0.70)}(X) = 58.0000(X) + 2.3333$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación R^2 del análisis de regresión lineal, que representa una medida de la aproximación de la función $f_{A(0.70)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_f^2 = \frac{\sum(Y)(f_{A(0.70)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 0.9809$$

Figura VII-18: Grafica de $Y_{A(0.70)} = f_{A(0.70)}(X) = 58.0000(X) + 2.3333$



Nota: El análisis de regresión polinómica de la pérdida (%) del asentamiento o slump promedio en muestras con relación (a/c=0.70), se realizó entre las muestras con dosificaciones de fibra de: 0.00%, 0.50%, 1.00% (exceptuando la de 2.00%), como correspondencia al análisis de regresión polinómica del incremento (%) de la resistencia a la compresión, donde se estudiaron valores de dosificación de fibra sintética en el intervalo [0.00-1.00]%.

Fuente: Elaboración propia.

B9. REGRESIÓN CUADRÁTICA $Y = CX^2 + DX + E$ EN MUESTRAS CON RELACIÓN (a/c=0.70)

Se realizó un análisis de regresión cuadrática y se determinó una función de segundo grado para aproximar: pérdida porcentual de asentamiento o slump promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X), en muestras de concreto con relación a/c = 0.70.

Se plantea la función cuadrática:

$$Y_{A(0.70)} = g_{A(0.70)}(X) = C_{A(0.70)}X^2 + D_{A(0.70)}X + E_{A(0.70)}$$

Luego según un análisis de regresión cuadrática, las constantes $C_{A(0.70)}$, $D_{A(0.70)}$ y $E_{A(0.70)}$, se calculan como:

$$C_{A(0.70)} = \frac{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right) \times \left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$D_{A(0.70)} = \frac{\left(\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^2 Y - \frac{(\sum X^2)(\sum Y)}{n}\right) \times \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)}{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum X^4 - \frac{(\sum X^2)^2}{n}\right) - \left(\sum X^3 - \frac{(\sum X^2)(\sum X)}{n}\right)^2}$$

$$E_{A(0.70)} = \frac{\sum Y - D_{A(0.70)} \times \sum X - C_{A(0.70)} \times \sum X^2}{n}$$

Donde "n" es el número de pares (X, Y) partícipes de la regresión (n=3), reemplazando en $C_{A(0.70)}$, $D_{A(0.70)}$ y $E_{A(0.70)}$ los parámetros calculados en la tabla VII.10, se tiene:

$$\begin{aligned} C_{A(0.70)} &= \frac{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(67.0000 - \frac{(1.2500)(94.0000)}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right) \times \left(76.0000 - \frac{(1.5000)(94.0000)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2} \\ &= -28.0000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{A(0.70)} &= \frac{\left(76.0000 - \frac{(1.5000)(94.0000)}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(67.0000 - \frac{(1.2500)(94.0000)}{3}\right) \times \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)}{\left(1.2500 - \frac{(1.5000)^2}{3}\right) \times \left(1.0625 - \frac{(1.2500)^2}{3}\right) - \left(1.1250 - \frac{(1.2500)(1.5000)}{3}\right)^2} \\ &= 86.0000 \end{aligned}$$

$$E_{A(0.70)} = \frac{94.0000 - 86.0000 \times 1.5000 + 28.0000 \times 1.2500}{3} = 0.0000$$

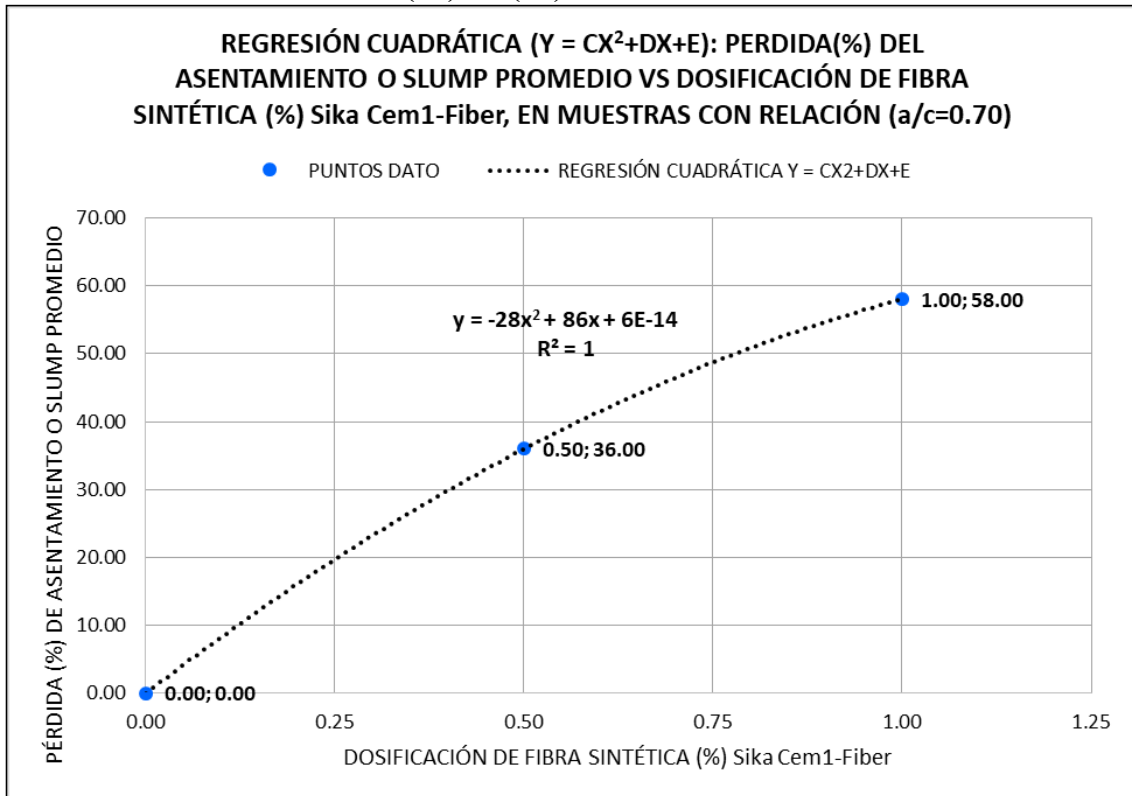
Con los valores de las constantes $C_{A(0.70)}$, $D_{A(0.70)}$ y $E_{A(0.70)}$ en la función de segundo grado $g_{A(0.70)}(X)$ que aproxima la pérdida de asentamiento o slump promedio (Y), en función de la dosificación porcentual de la fibra sintética (X) es:

$$Y_{A(0.70)} = g_{A(0.70)}(X) = -28.0000(X)^2 + 86.0000(X) + 0.0000$$

Finalmente se calcula el coeficiente de determinación $(R_g)^2$ del análisis de regresión cuadrática, que representa una medida de la aproximación de la función $g_{A(0.70)}(X)$ a los datos de laboratorio:

$$R_g^2 = \frac{\sum(Y)(g_{A(0.70)}(X)) - \frac{(\sum Y)^2}{n}}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}} = 1.0000$$

Figura VII-19: Grafica de $Y_{A(0.70)} = g_{A(0.70)}(X) = -28.0000(X)^2 + 86.0000(X) + 0.0000$



Nota: Ver nota de Figura VII-18.

Fuente: Elaboración propia.

C9. ELECCIÓN DE LA FUNCIÓN DE APROXIMACIÓN IDÓNEA, PARA EL CÁLCULO DE LA PÉRDIDA PORCENTUAL DE ASENTAMIENTO O SLUMP EN FUNCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN PORCENTUAL DE FIBRA SINTÉTICA, EN MUESTRAS DE CONCRETO CON RELACIÓN (a/c=0.65)

De A9 y B9 se tienen las siguientes funciones de aproximación:

$$Y_{A(0.70)} = f_{A(0.70)}(X) = 58.0000(X) + 2.3333$$

$$Y_{A(0.70)} = g_{A(0.70)}(X) = -28.0000(X)^2 + 86.0000(X) + 0.0000$$

Con coeficientes de determinación $R_f^2 = 0.9809$ y $R_g^2 = 1.0000$ respectivamente.

Comparando las funciones y sus valores de coeficientes de determinación, se observó que la función $g_{A(0.70)}(X)$ posee un coeficiente de determinación superior y más cercano a 1, por lo tanto se eligió la función $g_{A(0.70)}(X)$ como idónea para el cálculo la pérdida porcentual de asentamiento o slump en función de la dosificación porcentual de fibra sintética, en muestras de concreto con relación (a/c=0.70).

$$Y_{A(0.70)} = g_{A(0.70)}(X) = -28.0000(X)^2 + 86.0000(X) + 0.0000$$

$$Y_{A(0.70)} = -28.0000(X)^2 + 86.0000(X) + 0.0000$$

Reduciendo y redondeando, finalmente la función de aproximación será:

$$Y_{A(0.70)} = -28(X)^2 + 86(X) ; \forall X \in [0.00; 1.00]$$

Donde:

X: Dosificación porcentual (%) de fibra sintética (respecto al peso de cemento). Donde X se encuentra en el intervalo [0.00 - 1.00].

$Y_{A(0.70)}$: Pérdida porcentual (%) del asentamiento o slump promedio (respecto a la resistencia de diseño patrón), en muestras de concreto con relación a/c = 0.70.

7.4. PLANTEAMIENTO DE LA METODOLOGÍA DE DISEÑO DE CONCRETO FIBRORREFORZADO CON FIBRA SÍNTETICA Sika Cem1-Fiber.

Como paso previo a la exposición de la metodología de diseño del concreto fibrorreforzado con fibra sintética, se hablará de conceptos fundamentales para tales fines: “concreto base de diseño”, “resistencia a la compresión base de diseño”, “resistencia a la tracción base de diseño” y “asentamiento base de diseño”.

- ✓ El “concreto base de diseño” es aquella dosificación base, sin refuerzo de fibra en la mezcla de concreto: Cemento + agregado fino + agregado grueso + agua, obtenida a partir de métodos de diseño de mezclas de concreto convencionales.
- ✓ La “resistencia a la compresión base de diseño” es la resistencia a la compresión promedio (a los 28 días), obtenida en laboratorio, de por lo menos tres probetas de prueba del “concreto base de diseño”.
- ✓ La “resistencia a la tracción base de diseño” representa el 11% de la “resistencia a la compresión base de diseño”.
- ✓ El “asentamiento base de diseño” es el asentamiento promedio obtenido (en campo o laboratorio) de por lo menos dos tandas de prueba del “concreto base de diseño”.

El “concreto base de diseño” recibe ese nombre de ser el concreto patrón (sin refuerzo de fibra) que sirve como base para dar paso al diseño del concreto fibrorreforzado con fibra sintética.

Con las fórmulas expresadas en C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 y C9 se construyó la tabla VII.11 para el diseño del concreto fibrorreforzado con relaciones a/c (0.60, 0.65 y 0.70).

Con la tabla VII.11 se podrá calcular: El incremento (%) promedio de la resistencia a la compresión respecto a la resistencia a la compresión base de diseño, el incremento (%) promedio de la resistencia a la tracción respecto a la resistencia a la tracción base de diseño y la pérdida (%) promedio del asentamiento o slump

respecto al asentamiento base de diseño, en función de la dosificación porcentual de fibra sintética del concreto fibrorreforzado.

La variable X en la tabla VII.11 representa: Dosificación porcentual (%) de fibra sintética (respecto al peso de cemento). Cuyo dominio es $X \in [0.00; 1.00]$, donde un valor de $X=0.00$ representa un concreto sin refuerzo y un valor de $X=1.00$ representa una dosificación de fibra sintética de 1.00% en la mezcla de concreto.

Tabla VII.11: Tabla para el diseño del concreto fibrorreforzado con fibra sintética Sika Cem1-Fiber.

EXPRESIONES PARA EL DISEÑO DE CONCRETO FIBRORREFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA Sika Cem1-Fiber			
RELACIÓN a/c DE DISEÑO	INCREMENTO PORCENTUAL PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN RESPECTO A LA RESISTENCIA BASE DE DISEÑO (%)	INCREMENTO PORCENTUAL PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RESPECTO A LA RESISTENCIA BASE DE DISEÑO(%)	PÉRDIDA PORCENTUAL PROMEDIO DEL ASENTAMIENTO RESPECTO AL ASENTAMIENTO BASE DE DISEÑO (%)
0.60	$5.38(X)^2 + 10.35(X)$	$5.74(X)^3 - 4.31(X)^2 + 2.02(X)$	$-40(X)^2 + 106(X)$
0.65	$9.55(X)^2 + 13.35(X)$	$2.85(X)^2 + 4.33(X)$	$-34(X)^2 + 97(X)$
0.70	$-0.11(X)^2 + 21.62(X)$	$13.13(X)^2 + 2.41(X)$	$-28(X)^2 + 86(X)$

X: Dosificación porcentual de fibra sintética Sika Cem1-Fiber (%) (respecto al peso de cemento), en la mezcla de concreto.
 Dominio: $X \in [0.00 ; 1.00]$, donde un valor de $X=0.00$ representa un concreto sin refuerzo y un valor de $X=1.00$ representa una dosificación de fibra sintética de 1.00% con respecto al peso del cemento.
 Nota1: Los resultados calculados de las fórmulas representan valores porcentuales directamente, sin necesidad de operaciones posteriores.
 Nota2: La presente tabla de diseño tiene validéz para concretos de relaciones a/c entre 0.60 - 0.70.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que los resultados calculados de las formulas de la tabla VII.11, representan valores porcentuales directamente, sin necesidad de operaciones posteriores.

Según el análisis del asentamiento de las muestras de concreto fibrorreforzadas estudiadas en 6.1.1, se observó una reducción considerable de la trabajabilidad de la mezcla de concreto a mayores dosificaciones de fibra sintética. Este hecho deja entrever la necesidad del uso de aditivos plastificantes o súper - plastificantes en las mezclas de concreto reforzado con fibra sintética.

En la tabla VII.11, para un valor de $X=0.25$ y una relación a/c=0.60, se obtiene una pérdida porcentual (%) promedio del asentamiento de:

$$\text{Pérdida de asentamiento}_{(X=0.25 \text{ y } \frac{a}{c}=0.60)} \% = [-40(0.25)^2 + 106(0.25)]\% = 24.00\%$$

De lo anterior se observó que una dosificación de fibra sintética de 0.25% respecto al peso del cemento ($X = 0.25$) en una mezcla de concreto con relación $a/c=0.60$, produce una pérdida promedio del 24.00% del asentamiento con respecto al asentamiento base de diseño (concreto patrón – sin refuerzo).

Se recomienda el uso de aditivos plastificantes o súper-plastificantes a partir de dosificaciones de fibra sintética superiores a 0.25% respecto al peso del cemento ($X > 0.25$), dado que se generan pérdidas de asentamiento superiores al 24.00% que representan aproximadamente pérdidas superiores a la cuarta parte del asentamiento base de diseño.

7.5. EJEMPLO APLICATIVO DE DISEÑO DE CONCRETO FIBRORREFORZADO CON FIBRA SÍNTETICA Sika Cem1-Fiber

I. DATOS DEL CONCRETO BASE DE DISEÑO

Como punto de partida se tiene la siguiente dosificación por metro cúbico de “concreto base de diseño” obtenida a partir de métodos convencionales de diseño de mezclas.

Tabla VII.12: Dosificación (ejemplo) por metro cúbico de “concreto base de diseño”.

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO BASE DE DISEÑO POR 1 m ³		
AGUA	206.92	lt
CEMENTO	320.51	kg
AGREGADO FINO	965.29	kg
AGREGADO GRUESO	827.34	kg

Fuente: Elaboración propia.

Además se tienen los siguientes datos del “concreto base de diseño”:

Relación (a/c) de diseño = 0.63

Resistencia a la compresión del concreto base de diseño $F'c_0 = 253.66 \text{ kg/cm}^2$

Resistencia a la tracción del concreto base de diseño $T'c_0 = 11.00\%(F'c_0) = 27.90 \text{ kg/cm}^2$

Asentamiento del concreto base de diseño $Ac_0 = 4''$

II. EJEMPLO PARA CONCRETO FIBRORREFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA Sika Cem1-Fiber AL 0.74% RESPECTO AL PESO DEL CEMENTO:

Para una dosificación de fibra sintética SikaCem 1-fiber de 0.74% ($X=0.74$) y una relación $a/c = 0.63$; de la tabla VII.11 (por interpolación) se tiene:

Tabla VII.13: Datos para el diseño del concreto fibrorreforzado al 0.74% y una relación $a/c = 0.63$

FIBRA SINTÉTICA AL 0.74% Y $a/c=0.63$			
RELACIÓN a/c DE DISEÑO	INCREMENTO PORCENTUAL PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN RESPECTO A LA RESISTENCIA BASE DE DISEÑO (%)	INCREMENTO PORCENTUAL PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RESPECTO A LA RESISTENCIA BASE DE DISEÑO(%)	PÉRDIDA PORCENTUAL PROMEDIO DEL ASENTAMIENTO RESPECTO AL ASENTAMIENTO BASE DE DISEÑO (%)
0.60	10.61	1.46	56.54
0.63	13.31	3.44	54.51
0.65	15.11	4.76	53.16

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla VII.13, la resistencia a la compresión promedio del concreto fibrorreforzado $F'c_{fr}$ en función de $F'c_0$ será:

$$F'c_{fr} = F'c_0 + 13.31\% \times F'c_0$$

$$F'c_{fr} = 113.31\% \times F'c_0 = 113.31\% \times 253.66 = 287.42 \text{ kg/cm}^2$$

De la tabla VII.13, la resistencia a la tracción promedio del concreto fibrorreforzado $T'c_{fr}$ en función de $T'c_0$ será:

$$T'c_{fr} = T'c_0 + 3.44\% \times T'c_0$$

$$T'c_{fr} = 103.44\% \times T'c_0 = 103.44\% \times 27.90 = 28.86 \text{ Kg/cm}^2$$

De la tabla VII.13, el asentamiento promedio del concreto fibrorreforzado Ac_{fr} en función de Ac_0 será:

$$Ac_{fr} = Ac_0 - 54.51\% \times Ac_0$$

$$Ac_{fr} = 45.49\% \times Ac_0 = 45.49\% \times 4" = 1.81" <> 1\frac{3}{4}"$$

Se observa que el asentamiento promedio del concreto fibrorreforzado es de $1\frac{3}{4}$ " , que representa un valor de asentamiento bajo por ende un concreto fibrorreforzado de poca trabajabilidad, evidenciando la necesidad de la inclusión de un aditivo plastificante o súper-plastificante.

Para fines prácticos se usara el aditivo plastificante Sika Cem Plastificante en su dosificación como plastificante de 250 ml por cada bolsa de cemento de 42.50 Kg (según lo suscrito en sus especificaciones técnicas).

NOTA: Se recomienda realizar ensayos de asentamiento luego de la inclusión del aditivo plastificante, para optimizar la dosificación del mismo.

III. DOSIFICACIÓN POR 1 M³ DE CONCRETO FIBRORREFORZADO CON FIBRA SÍNTETICA Sika Cem1-Fiber AL 0.74% (RESPECTO AL PESO DEL CEMENTO).

Se tiene el peso de fibra sintética (Sika Cem1-Fiber) respecto al peso del cemento:

$$\text{Peso de fibra por } 1\text{m}^3(\text{Sika Cem1} - \text{Fiber}) = 0.74\% \times \text{Peso de cemento por } 1\text{m}^3$$

$$\text{Peso de fibra por } 1\text{m}^3(\text{Sika Cem1} - \text{Fiber}) = 0.74\% \times 320.51 \text{ kg} = 2.37 \text{ kg}$$

Se tiene el volumen de aditivo plastificante (Sika Cem Plastificante) respecto al peso del cemento:

$$\text{Vol. Aditivo } 1\text{m}^3(\text{Sika Cem Plast.}) = \frac{250\text{ml}}{42.50 \text{ kg}} \times \text{Peso de cemento por } 1\text{m}^3$$

$$\text{Vol. Aditivo } 1\text{m}^3(\text{Sika Cem Plast.}) = \frac{250\text{ml}}{42.50 \text{ kg}} \times 320.51 \text{ kg} = 1885\text{ml} = 1.89 \text{ lt}$$

Finalmente la dosificación por 1m^3 del concreto fibrorreforzado será:

Tabla VII.14: Dosificación por metro cúbico del concreto fibrorreforzado con fibra sintética sika cem1-fiber al 0.74% (respecto al peso del cemento).

DOSIFICACIÓN POR 1 M3 DE CONCRETO FIBRORREFORZADO CON FIBRA SITETICA Sika Cem1-Fiber AL 0.74% RESPECTO AL PESO DEL CEMENTO		
AGUA	206.92	lt
CEMENTO	320.51	kg
AGREGADO FINO	965.29	kg
AGREGADO GRUESO	827.34	kg
FIBRA SINTÉTICA Sika Cem1-Fiber	2.37	kg
ADITIVO Sika Cem Plastificante	1.89	lt

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Resistencia a la compresión del concreto fibrorreforzado $F'_{c_{fr}} = 287.42 \text{ kg/cm}^2$

Resistencia a la tracción del concreto fibrorreforzado $T'_{c_{fr}} = 28.86 \text{ Kg/cm}^2$

CONCLUSIONES

1. Sobre los efectos del refuerzo de fibra sintética sobre el asentamiento del concreto fresco:

A medida que se incrementa la dosificación de fibra sintética, en la mezcla de concreto, esta genera una pérdida de asentamiento significativa con respecto al concreto patrón (observado en la Tabla VI.3 del CAPITULO VI - 6.1.1).

2. Sobre los efectos del refuerzo de fibra sintética sobre el peso unitario del concreto fresco:

A medida que se incrementa la dosificación de fibra sintética, en la mezcla de concreto, esta genera un ligero incremento de peso unitario con respecto al concreto patrón (observado en la tabla VI.6 del CAPITULO VI - 6.1.2).

3. Sobre los efectos del refuerzo de fibra sintética sobre el tiempo de fragua del concreto fresco:

A medida que se incrementa la dosificación de fibra sintética, en la mezcla de concreto, esta genera una reducción significativa del tiempo de fragua con respecto al concreto patrón (observado en la tabla VI.9 del CAPITULO VI - 6.1.3).

4. Sobre los efectos del refuerzo de fibra sintética sobre la resistencia a la compresión del concreto endurecido:

4.1. A medida que se incrementa la dosificación de fibra sintética, en la mezcla de concreto, esta genera un incremento significativo de la resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón (observado en la tabla VI.18 del CAPITULO VI - 6.2.1).

4.2. **La dosificación óptima máxima recomendable de fibra sintética (para las muestras con 28 días de curado y relación a/c = 0.60, 0.65 y 0.70) es: 1.00% del peso de cemento;** demostrado según prueba de hipótesis estadística donde se compararon las muestras fibrorreforzadas al 1.00% y 2.00%, observándose que estas presentaban la misma resistencia a la compresión promedio, concluyendo que las muestras fibrorreforzadas al 1.00% registran los mayores incrementos de la resistencia a la compresión promedio (con respecto al patrón), usando la menor dosificación de fibra sintética ($1.00\% < 2.00\%$) entre las muestras comparadas.

- 4.3. Se registraron mayores incrementos (%) de la resistencia a la compresión (con respecto al patrón) en concretos fibrorreforzados de mayor relación a/c ; en consecuencia el impacto del refuerzo de fibra sintética sobre la resistencia a la compresión es más significativo en concretos de menor $F'c$.
- 4.4. Del análisis de los intervalos de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión de las muestras de concreto, se demostró que un mayor número de elementos de muestras de concreto para el ensayo de resistencia a la compresión, mejoraran la precisión de los intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la compresión del concreto, de aquí se resalta la importancia de la fabricación de un número idóneo de muestras para el ensayo.
- 4.5. Del análisis de tipo de falla de las muestras ensayadas a compresión, se concluye que la presencia de mayores dosificaciones de fibra en el concreto tiene como consecuencia un escaso desprendimiento de material durante el ensayo de resistencia a la compresión (como resultado de la red tridimensional que forma la fibra sintética al distribuirse en la masa de concreto), dicha propiedad del concreto fibrorreforzado de mantener su integridad a pesar de presentar grietas es evidencia del incremento de la ductilidad del mismo con respecto al concreto patrón, teniendo como posibles beneficios:
 - I. Ante eventualidades sísmicas en edificaciones de concreto armado, los elementos de concreto fibrorreforzado presentarían un menor desprendimiento de material, en consecuencia se disminuiría el riesgo de daños personales.
 - II. En el caso de concretos de alta resistencia donde la falla en la rotura es explosiva, el refuerzo de fibra sintética podría ser usada para controlar su tipo de falla otorgándole propiedades dúctiles (limitadas) al concreto.

5. Sobre los efectos del refuerzo de fibra sintética sobre la resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto endurecido:

- 5.1. A medida que se incrementa la dosificación de fibra sintética, en la mezcla de concreto, esta genera un incremento de la resistencia a la tracción por compresión diametral con respecto al concreto patrón (observado en la tabla VI.48 del CAPITULO VI - 6.2.2).
- 5.2. Se registraron mayores incrementos (%) de la resistencia a la tracción (con respecto al patrón) en concretos fibrorreforzados de mayor relación a/c; en consecuencia el impacto del refuerzo de fibra sintética sobre la resistencia a la tracción es más significativo en concretos de menor F'c.
- 5.3. Del análisis de los intervalos de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción de las muestras de concreto, se demostró que un mayor número de elementos de muestras de concreto para el ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral, mejoraran la precisión de los intervalos al 95% de confianza de la media poblacional de la resistencia a la tracción del concreto, de aquí se reafirma la importancia de la fabricación de un número idóneo de muestras para el ensayo.
- 5.4. Del análisis de falla de las muestras ensayadas a tracción indirecta se evidenciaron las propiedades dúctiles del concreto fibrorreforzado. Este hecho se observó con mayor relevancia en las muestras de concreto:
 - (a) Con relación (a/c = 0.60) fibrorreforzadas al 2.00%.
 - (b) Con relación (a/c = 0.65) fibrorreforzadas entre el [1.00 - 2.00] %.
 - (c) Con relación (a/c = 0.70) fibrorreforzadas entre el [0.50 - 2.00] %.

En las cuales en instancias finales del ensayo, a pesar del agrietamiento y deformaciones, no se produjo la división física de la probeta manteniendo su integridad y presentando de escaso a nulo desprendimiento de material.

6. Sobre los efectos del refuerzo de fibra sintética sobre el módulo de rotura (resistencia a la flexión) del concreto endurecido:

- 6.1. A medida que se incrementa la dosificación de fibra sintética, en la mezcla de concreto, esta genera un incremento insignificante (despreciable) en el módulo de rotura del concreto fibrorreforzado con respecto al concreto patrón (observado en la tabla VI.61 del CAPITULO VI - 6.2.3).

- 6.2. El impacto del refuerzo de fibra sintética sobre el módulo de rotura o resistencia a la flexión del concreto fibrorreforzado es despreciable; hecho demostrado según prueba de hipótesis de comparación estadística, donde el módulo de rotura de las muestras fibrorreforzadas conserva un valor constante e igual al módulo de rotura del concreto patrón, a pesar del incremento del refuerzo de fibra sintética.

- 6.3. La invariabilidad estadística entre los valores de los módulos de rotura del concreto fibrorreforzado y el concreto patrón, puede justificarse por:
 - ✓ La naturaleza de los esfuerzos normales presentes en el plano transversal de falla, en el centro de luz de la viga. Como se observa en la figura VI-42, los esfuerzos normales son de tracción pura en el plano transversal de falla.

 - ✓ La textura lisa de la superficie de la fibra sintética Sika Cem1-Fiber y su longitud reducida ($L=20\text{mm}$), características que hacen que la fibra sometida a dichos esfuerzos normales, no tenga la longitud de desarrollo ni el anclaje idóneo para generar incrementos significativos en el módulo de rotura.

7. Sobre el planteamiento de metodología de diseño del concreto fibrorreforzado con fibra sintética (Sika Cem1-Fiber):

Se construyó la Tabla VII.11 (del CAPITULO VII - 7.4) de expresiones para el diseño del concreto fibrorreforzado, con la cual se podrá calcular: El incremento porcentual promedio de la resistencia a la compresión (respecto a la resistencia a la compresión base de diseño) (%), el incremento porcentual promedio de la resistencia a la tracción (respecto a la resistencia a la tracción base de diseño) (%) y la pérdida porcentual promedio del asentamiento o slump (respecto al asentamiento base de diseño) (%), en función de la dosificación porcentual de fibra sintética (respecto al peso del cemento) del concreto fibrorreforzado.

Tabla VII.11: Tabla para el diseño del concreto fibrorreforzado con fibra sintética Sika Cem1-Fiber.

EXPRESIONES PARA EL DISEÑO DE CONCRETO FIBRORREFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA Sika Cem1-Fiber			
RELACIÓN a/c DE DISEÑO	INCREMENTO PORCENTUAL PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN RESPECTO A LA RESISTENCIA BASE DE DISEÑO (%)	INCREMENTO PORCENTUAL PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RESPECTO A LA RESISTENCIA BASE DE DISEÑO(%)	PÉRDIDA PORCENTUAL PROMEDIO DEL ASENTAMIENTO RESPECTO AL ASENTAMIENTO BASE DE DISEÑO (%)
0.60	$5.38(X)^2 + 10.35(X)$	$5.74(X)^3 - 4.31(X)^2 + 2.02(X)$	$-40(X)^2 + 106(X)$
0.65	$9.55(X)^2 + 13.35(X)$	$2.85(X)^2 + 4.33(X)$	$-34(X)^2 + 97(X)$
0.70	$-0.11(X)^2 + 21.62(X)$	$13.13(X)^2 + 2.41(X)$	$-28(X)^2 + 86(X)$

*X: Dosificación porcentual de fibra sintética Sika Cem1-Fiber (%) (respecto al peso de cemento), en la mezcla de concreto.
Dominio: $X \in [0.00 ; 1.00]$, donde un valor de $X=0.00$ representa un concreto sin refuerzo y un valor de $X=1.00$ representa una dosificación de fibra sintética de 1.00% con respecto al peso del cemento.
Nota1: Los resultados calculados de las fórmulas representan valores porcentuales directamente, sin necesidad de operaciones posteriores.
Nota2: La presente tabla de diseño tiene validéz para concretos de relaciones a/c entre 0.60 - 0.70.*

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que se implementaron fórmulas para cada una de las relaciones a/c = (0.60, 0.65, 0.70), con el fin de tener una mayor precisión en el cálculo de las propiedades del concreto fibrorreforzado. **Se muestran los parámetros estadísticos de las resistencias calculadas con la Tabla VII.11:**

- ✓ La resistencia a la compresión (del concreto fibrorreforzado) calculada, presenta un error promedio $E_c = 8.25 \text{ kg/cm}^2$, un coeficiente de variación promedio $CV_c = 3.06\%$ y una desviación típica promedio $S_c = 7.86 \text{ kg/cm}^2$.

- ✓ La resistencia a la tracción (del concreto fibrorreforzado) calculada, presenta un error promedio $E_t = 0.89 \text{ kg/cm}^2$, un coeficiente de variación promedio $CV_t = 3.22\%$ y una desviación típica promedio $S_t = 0.85 \text{ kg/cm}^2$.

8. Sobre los posibles efectos del refuerzo de fibra sintética fuera de los límites establecidos en la metodología de diseño:

- 8.1. Superada la dosificación máxima recomendable de fibra (1.00% del peso de cemento), se observó que se generan pérdidas de trabajabilidad de más del 58% (con respecto del patrón) y no se registró crecimiento en la curva de resistencia a la compresión del concreto fibrorreforzado. En conclusión una dosificación superior a la de 1.00%, generaría pérdidas considerables en la trabajabilidad de la mezcla, sin mayor incremento de la resistencia a la compresión.
- 8.2. En concretos con relación (a/c) superiores a 0.70 (por ende de menor resistencia que las muestras ensayadas) el refuerzo de fibra sintética generaría incrementos (%) de resistencia superiores a los registrados en los ensayos realizados; y en concretos con relación (a/c) inferiores a 0.60 (por ende de mayor resistencia que las muestras ensayadas), el refuerzo de fibra sintética generaría incrementos (%) de resistencia inferiores a los registrados en los ensayos realizados.

9. Sobre la comparación de resultados con investigaciones relacionadas:

Se realizó un estudio comparativo de los resultados obtenidos en la presente investigación versus los resultados de las tesis relacionadas con el refuerzo de fibra sintética, realizadas en la Facultad de Ingeniería Civil – UNI.

Para tales fines se construyó el cuadro comparativo resumen que se muestra a continuación:

CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS DE LA TESIS "ANÁLISIS DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA" CON TESIS RELACIONADAS CON EL REFUERZO DE FIBRA SINTÉTICA (REALIZADAS EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL - UNI)										
					CONCRETO FRESCO			CONCRETO ENDURECIDO (28 DÍAS DE CURADO)		
ITEM	TESIS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA ESTUDIADA	RELACIONES (a/c) ESTUDIADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS	ENSAYO DE ASENTAMIENTO	ENSAYO DE PESO UNITARIO	ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN
A	Reinoso Esteban, Carlos Ever. "Análisis del concreto reforzado con fibra sintética". Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. UNI – FIC.	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60 0.65 0.70	0.50% 1.00% 2.00% (del peso de cemento)	Asentamiento con respecto del patrón (a/c = 0.60): MUESTRAS 0.50% → 57% MUESTRAS 1.00% → 34% MUESTRAS 2-00% → 12%	Peso Unitario con respecto del patrón (a/c = 0.60): MUESTRAS 0.50% → 100.09% MUESTRAS 1.00% → 100.18% MUESTRAS 2-00% → 100.32%	Tiempo de fragua final con respecto del patrón (a/c = 0.65): MUESTRAS 0.50% → 89.23% MUESTRAS 1.00% → 80.53% MUESTRAS 2-00% → 61.56%	Resistencia a la compresión con respecto del patrón (a/c = 0.60): MUESTRAS 0.50% → 106.52% MUESTRAS 1.00% → 115.73% MUESTRAS 2-00% → 114.67%	Resistencia a la tracción con respecto del patrón (a/c = 0.60): MUESTRAS 0.50% → 101.30% MUESTRAS 1.00% → 102.59% MUESTRAS 2-00% → 106.12%	Resistencia a la flexión con respecto del patrón (a/c = 0.60): MUESTRAS 0.50% → 101.95% MUESTRAS 1.00% → 102.14% MUESTRAS 2-00% → 101.14%
B	Saenz Cunza, Robel Nau. "Estudio del concreto con fibras de polipropileno y cemento portland tipo I para A/C: 0.60". Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. UNI – FIC. Lima 2019.	Chema Fibra Ultrafina (Longitud = 19mm)	0.60	200g 300g 400g (por metro cúbico)	Asentamiento con respecto del patrón (a/c = 0.60): MUESTRAS 200g → 100% MUESTRAS 300g → 88.2% MUESTRAS 400g → 94.1%	Peso Unitario con respecto del patrón (a/c = 0.60): MUESTRAS 200g → 99.4% MUESTRAS 300g → 98.9% MUESTRAS 400g → 98.8%	Tiempo de fragua final con respecto del patrón (a/c = 0.60): MUESTRAS 200g → 98.9% MUESTRAS 300g → 113.4% MUESTRAS 400g → 79.7%	Resistencia a la compresión con respecto del patrón (a/c = 0.60): MUESTRAS 200g → 118.7% MUESTRAS 300g → 123.3% MUESTRAS 400g → 118.8%	Resistencia a la tracción con respecto del patrón (a/c = 0.60): MUESTRAS 200g → 117% MUESTRAS 300g → 90.1% MUESTRAS 400g → 106%	NO PRESENTA DATOS DE LABORATORIO
C	Castro Tomas, Fidel Matías. "Efectos de la fibra de polipropileno en concretos con cemento Portland Tipo V". Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. UNI – FIC. Lima 2009.	Chema Fibra de Polipropileno (Longitud = 2 pulg)	0.40 0.45 0.50	200g 400g 600g (por metro cúbico)	NO PRESENTA DATOS DE LABORATORIO	NO PRESENTA DATOS DE LABORATORIO	NO PRESENTA DATOS DE LABORATORIO	Resistencia a la compresión con respecto del patrón (a/c = 0.50): MUESTRAS 200g → 103.55% MUESTRAS 400g → 106.68% MUESTRAS 600g → 107.13%	NO PRESENTA DATOS DE LABORATORIO	Resistencia a la flexión con respecto del patrón (a/c = 0.50): MUESTRAS 200g → 104.51% MUESTRAS 400g → 115.69% MUESTRAS 600g → 114.75%
D	Rodriguez Cosar, Adolfo Raúl. "Concreto en climas fríos, con uso de fibras de polipropileno e incorporador de aire". Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. UNI – FIC. Lima 2009.	Fibras FIBERMESH (Longitud = 19mm)	0.46	75g 85g 95g (por bolsa de cemento)	Asentamiento con respecto del patrón (a/c = 0.46): MUESTRAS 75g → 125% MUESTRAS 85g → 125% MUESTRAS 95g → 137.5 %	Peso Unitario con respecto del patrón (a/c = 0.46): MUESTRAS 75g → 100.08% MUESTRAS 85g → 100.85% MUESTRAS 95g → 100.97%	NO PRESENTA DATOS DE LABORATORIO	Resistencia a la compresión con respecto del patrón (a/c = 0.46): MUESTRAS 75g → 107.00% MUESTRAS 85g → 108.00% MUESTRAS 95g → 109.00%	NO PRESENTA DATOS DE LABORATORIO	Resistencia a la flexión con respecto del patrón (a/c = 0.46): MUESTRAS 75g → 100.99% MUESTRAS 85g → 104.89% MUESTRAS 95g → 109.45%
E	Valentin Sanchez, Luis Enrique. "Efectos de la fibra de polipropileno de 2" en las propiedades del concreto elaborado con cemento portland tipo I". Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. UNI – FIC. Lima 2000.	Chema Fibra de Polipropileno (Longitud = 2 pulg)	0.50 0.55 0.60	200g 400g 600g (por metro cúbico)	NO PRESENTA DATOS DE LABORATORIO	Peso Unitario con respecto del patrón (a/c = 0.60): MUESTRAS 200g → 99.4% MUESTRAS 400g → 99.7% MUESTRAS 600g → 99.1%	NO PRESENTA DATOS DE LABORATORIO	Resistencia a la compresión con respecto del patrón (a/c = 0.60): MUESTRAS 200g → 121.94% MUESTRAS 400g → 133.97% MUESTRAS 600g → 123.28%	Resistencia a la tracción con respecto del patrón (a/c = 0.60): MUESTRAS 200g -> 112.18% MUESTRAS 400g -> 110.39% MUESTRAS 600g -> 87.33%	Resistencia a la flexión con respecto del patrón (a/c = 0.60): MUESTRAS 200g → 114.43% MUESTRAS 400g → 102.14% MUESTRAS 600g → 115.69%

Del cuadro comparativo resumen, se concluyó:

I. De los ensayos de asentamiento:

✓ Comparando A con B:

TESIS COMPARADAS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA COMPARADA	RELACIONES (a/c) DEL CONCRETO PATRÓN COMPARADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS (HOMOGENIZADAS POR METRO CÚBICO)	ASENTAMIENTOS DEL CONCRETO FIBRORREFORZADO CON RESPECTO DEL PATRÓN	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN	POSIBLES RAZONES
A	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60	0.50% <> 1625 g 1.00% <> 3250 g 2.00% <> 6500 g (por metro cúbico)	MUESTRAS 0.50% → 57% MUESTRAS 1.00% → 34% MUESTRAS 2.00% → 12%	Se observa una tendencia de pérdida de asentamiento del concreto, con la adición de fibra sintética.	Comparando A con B: se observó que en ambas investigaciones las muestras de concreto fibrorreforzado presentan una tendencia de pérdida del asentamiento con respecto del patrón; sin embargo las pérdidas de asentamiento en A son muy superiores.	1. La pérdida de asentamiento en el concreto fibrorreforzado en A y B se debería a la red tridimensional de fibra que se distribuye en la mezcla de concreto fresco, generándole una mayor cohesión. 2. Las pérdidas de asentamiento en A serían superiores que en B, debido a las altas dosificaciones de fibra sintética en A.
B	Chema Fibra Ultrafina (Longitud = 19mm)	0.60	200g 300g 400g (por metro cúbico)	MUESTRAS 200g → 100% MUESTRAS 300g → 88.2% MUESTRAS 400g → 94.1%	Se observa una tendencia de pérdida de asentamiento del concreto, con la adición de fibra sintética.		

✓ Comparando A con D:

TESIS COMPARADAS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA COMPARADA	RELACIONES (a/c) DEL CONCRETO PATRÓN COMPARADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS (HOMOGENIZADAS POR METRO CÚBICO)	ASENTAMIENTOS DEL CONCRETO FIBRORREFORZADO CON RESPECTO DEL PATRÓN	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN	POSIBLES RAZONES
A	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60	0.50% <> 1625 g 1.00% <> 3250 g 2.00% <> 6500 g (por metro cúbico)	MUESTRAS 0.50% → 57% MUESTRAS 1.00% → 34% MUESTRAS 2.00% → 12%	Se observa una tendencia de pérdida de asentamiento del concreto, con la adición de fibra sintética.	Comparando A con D: se observó que en D las muestras de concreto fibrorreforzado presentan una tendencia de incremento del asentamiento con respecto del patrón, en contraposición de lo registrado en A.	1. Los incrementos de asentamiento en D no quedan del todo claros dado que el refuerzo de fibra sintética por lo general causa pérdidas de asentamiento; es probable que se haya desarrollado una reacción química entre la fibra sintética y el aditivo incorporador de aire MB-VR usados en D, desencadenando un incremento del asentamiento.
D	Fibras FIBERMESH (Longitud = 19mm)	0.46	75g <> 614.25g 85g <> 696.15g 95g <> 778.05g (por metro cúbico)	MUESTRAS 75g → 125% MUESTRAS 85g → 125% MUESTRAS 95g → 137.5%	Se observa una tendencia de incremento del asentamiento del concreto, con la adición de fibra sintética.		

II. De los ensayos de peso unitario:

✓ Comparando A con B:

TESIS COMPARADAS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA COMPARADA	RELACIONES (a/c) DEL CONCRETO PATRÓN COMPARADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS (HOMOGENIZADAS POR METRO CÚBICO)	PESOS UNITARIOS DEL CONCRETO FIBRORREFORZADO CON RESPECTO DEL PATRÓN	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN	POSIBLES RAZONES
A	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60	0.50% <> 1625 g 1.00% <> 3250 g 2.00% <> 6500 g (por metro cúbico)	MUESTRAS 0.50% → 100.09% MUESTRAS 1.00% → 100.18% MUESTRAS 2-00% → 100.32%	Se observa una tendencia de incremento del peso unitario del concreto, con la adición de fibra sintética.	Comparando A con B: se observó que en A las muestras de concreto fibrorreforzado presentan una tendencia de incremento del peso unitario con respecto del patrón, sin embargo en B se presenta una tendencia de reducción del peso unitario.	1. Los incrementos de peso unitario en A y las reducciones de peso unitario en B son de orden despreciable; que estadísticamente (para el número de ensayos realizados) podría considerarse que el peso unitario del concreto fibrorreforzado en A y B no refleja variación con respecto del patrón.
B	Chema Fibra Ultrafina (Longitud = 19mm)	0.60	200g 300g 400g (por metro cúbico)	MUESTRAS 200g → 99.4% MUESTRAS 300g → 98.9% MUESTRAS 400g → 98.8%	Se observa una tendencia de reducción del peso unitario del concreto, con la adición de fibra sintética.		

✓ Comparando A con D:

TESIS COMPARADAS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA COMPARADA	RELACIONES (a/c) DEL CONCRETO PATRÓN COMPARADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS (HOMOGENIZADAS POR METRO CÚBICO)	PESOS UNITARIOS DEL CONCRETO FIBRORREFORZADO CON RESPECTO DEL PATRÓN	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN	POSIBLES RAZONES
A	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60	0.50% <> 1625 g 1.00% <> 3250 g 2.00% <> 6500 g (por metro cúbico)	MUESTRAS 0.50% → 100.09% MUESTRAS 1.00% → 100.18% MUESTRAS 2-00% → 100.32%	Se observa una tendencia de incremento del peso unitario del concreto, con la adición de fibra sintética.	Comparando A con D: se observó que en ambas investigaciones las muestras de concreto fibrorreforzado presentan una tendencia de incremento del peso unitario con respecto del patrón. Cabe señalar que dichos incrementos presentan valores despreciables.	1. Los incrementos de peso unitario en A y D son de orden despreciable; que estadísticamente (para el número de ensayos realizados) podría considerarse que el peso unitario del concreto fibrorreforzado en A y D no refleja variación con respecto del patrón.
D	Fibras FIBERMESH (Longitud = 19mm)	0.46	75g <> 614.25g 85g <> 696.15g 95g <> 778.05g (por metro cúbico)	MUESTRAS 75g → 100.08% MUESTRAS 85g → 100.85% MUESTRAS 95g → 100.97%	Se observa una tendencia de incremento del peso unitario del concreto, con la adición de fibra sintética.		

✓ Comparando A con E:

TESIS COMPARADAS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA COMPARADA	RELACIONES (a/c) DEL CONCRETO PATRÓN COMPARADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS (HOMOGENIZADAS POR METRO CÚBICO)	PESOS UNITARIOS DEL CONCRETO FIBRORREFORZADO CON RESPECTO DEL PATRÓN	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN	POSIBLES RAZONES
A	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60	0.50% <> 1625 g 1.00% <> 3250 g 2.00% <> 6500 g (por metro cúbico)	MUESTRAS 0.50% → 100.09% MUESTRAS 1.00% → 100.18% MUESTRAS 2-00% → 100.32%	Se observa una tendencia de incremento del peso unitario del concreto, con la adición de fibra sintética.	Comparando A con E: se observó que en A las muestras de concreto fibrorreforzado presentan una tendencia de incremento del peso unitario con respecto del patrón, sin embargo en E se presenta una tendencia de reducción del peso unitario.	1. Los incrementos de peso unitario en A y las reducciones de peso unitario en E son de orden despreciable; que estadísticamente (para el número de ensayos realizados) podría considerarse que el peso unitario del concreto fibrorreforzado en A y E no refleja variación con respecto del patrón.
E	Chema Fibra de Polipropileno (Longitud = 2 pulg)	0.60	200g 400g 600g (por metro cúbico)	MUESTRAS 200g → 99.4% MUESTRAS 400g → 99.7% MUESTRAS 600g → 99.1%	Se observa una tendencia de reducción del peso unitario del concreto, con la adición de fibra sintética.		

III. De los ensayos de tiempo de fragua:

✓ Comparando A con B:

TESIS COMPARADAS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA COMPARADA	RELACIONES (a/c) DEL CONCRETO PATRÓN COMPARADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS (HOMOGENIZADAS POR METRO CÚBICO)	TIEMPOS DE FRAGUA FINAL DEL CONCRETO FIBRORREFORZADO CON RESPECTO DEL PATRÓN	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN	POSIBLES RAZONES
A	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60	0.50% <> 1625 g 1.00% <> 3250 g 2.00% <> 6500 g (por metro cúbico)	MUESTRAS 0.50% → 89.23% MUESTRAS 1.00% → 80.53% MUESTRAS 2-00% → 61.56%	Se observa una tendencia de reducción de tiempo de fragua del concreto, con la adición de fibra sintética.	Comparando A con B: se observó que en A las muestras de concreto fibrorreforzado presentan una tendencia de reducción del tiempo de fragua final con respecto del patrón, mientras en B se observó una tendencia variable alternada entre reducción e incremento del tiempo de fragua final.	1. La tendencia de reducción del tiempo de fragua final en A, podría estar relacionada directamente con la pérdida de asentamiento que genera la fibra en la mezcla de concreto. 2. La tendencia irregular de reducción e incremento del tiempo de fragua en B, podría deberse a sus bajas dosificaciones de fibra sintética (que en consecuencia origina una red tridimensional de fibra menos poblada en la mezcla), generando resultados irregulares en los ensayos.
B	Chema Fibra Ultrafina (Longitud = 19mm)	0.60	200g 300g 400g (por metro cúbico)	MUESTRAS 200g → 98.9% MUESTRAS 300g → 113.4% MUESTRAS 400g → 79.7%	Se observa una tendencia alternada de reducción e incremento del tiempo de fragua del concreto, con la adición de fibra sintética.		

IV. De los ensayos de resistencia a la compresión:

✓ Comparando A con B:

TESIS COMPARADAS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA COMPARADA	RELACIONES (a/c) DEL CONCRETO PATRÓN COMPARADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS (HOMOGENIZADAS POR METRO CÚBICO)	RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO FIBRORREFORZADO CON RESPECTO DEL PATRÓN	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN	POSIBLES RAZONES
A	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60	0.50% <> 1625 g 1.00% <> 3250 g 2.00% <> 6500 g (por metro cúbico)	MUESTRAS 0.50% → 106.52% MUESTRAS 1.00% → 115.73% MUESTRAS 2.00% → 114.67%	Se observa una tendencia de incremento de la resistencia a la compresión del concreto, con la adición de fibra sintética.	Comparando A con B: se observó que en ambas investigaciones las muestras de concreto fibrorreforzado presentan una tendencia de incremento de la resistencia a la compresión con respecto del patrón, sin embargo en B se registran incrementos superiores de la resistencia a la compresión.	1. Los incrementos de resistencia a la compresión superiores de B, a pesar de tener una menor dosificación de fibra que en A, podrían deberse a la calidad de la fibra sintética, dado que realizada una comparación de módulos de elasticidad de las fibras se encontró: que la fibra usada en A tiene un MeA = 15000 kg/cm ² y la fibra usada en B tiene un MeB = 86600 kg/cm ² , resultando la fibra usada en B de resistencia y calidad superior.
B	Chema Fibra Ultrafina (Longitud = 19mm)	0.60	200g 300g 400g (por metro cúbico)	MUESTRAS 200g → 118.7% MUESTRAS 300g → 123.3% MUESTRAS 400g → 118.8%	Se observa una tendencia de incremento de la resistencia a la compresión del concreto, con la adición de fibra sintética.		

✓ Comparando A con C:

TESIS COMPARADAS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA COMPARADA	RELACIONES (a/c) DEL CONCRETO PATRÓN COMPARADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS (HOMOGENIZADAS POR METRO CÚBICO)	RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO FIBRORREFORZADO CON RESPECTO DEL PATRÓN	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN	POSIBLES RAZONES
A	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60	0.50% <> 1625 g 1.00% <> 3250 g 2.00% <> 6500 g (por metro cúbico)	MUESTRAS 0.50% → 106.52% MUESTRAS 1.00% → 115.73% MUESTRAS 2.00% → 114.67%	Se observa una tendencia de incremento de la resistencia a la compresión del concreto, con la adición de fibra sintética.	Comparando A con C: se observó que en ambas investigaciones las muestras de concreto fibrorreforzado presentan una tendencia de incremento de la resistencia a la compresión con respecto del patrón, sin embargo en A se registran incrementos superiores de la resistencia a la compresión.	1. Los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión superiores en A, podrían deberse a que el concreto patrón en A posee una menor resistencia que el patrón en C, en consecuencia los efectos de incremento de resistencia se expresarían con mayor valor porcentual en A.
C	Chema Fibra de Polipropileno (Longitud = 2 pulg)	0.50	200g 400g 600g (por metro cúbico)	MUESTRAS 200g → 103.55% MUESTRAS 400g → 106.68% MUESTRAS 600g → 107.13%	Se observa una tendencia de incremento de la resistencia a la compresión del concreto, con la adición de fibra sintética.		

✓ Comparando A con D:

TESIS COMPARADAS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA COMPARADA	RELACIONES (a/c) DEL CONCRETO PATRÓN COMPARADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS (HOMOGENIZADAS POR METRO CÚBICO)	RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO FIBRORREFORZADO CON RESPECTO DEL PATRÓN	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN	POSIBLES RAZONES
A	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60	0.50% <> 1625 g 1.00% <> 3250 g 2.00% <> 6500 g (por metro cúbico)	MUESTRAS 0.50% → 106.52% MUESTRAS 1.00% → 115.73% MUESTRAS 2.00% → 114.67%	Se observa una tendencia de incremento de la resistencia a la compresión del concreto, con la adición de fibra sintética.	Comparando A con D: se observó que en ambas investigaciones las muestras de concreto fibrorreforzado presentan una tendencia de incremento de la resistencia a la compresión con respecto del patrón, sin embargo en A se registran incrementos superiores de la resistencia a la compresión.	1. Los incrementos porcentuales de resistencia a la compresión superiores en A, podrían deberse a que el concreto patrón en A posee una menor resistencia que el patrón en D, en consecuencia los efectos de incremento de resistencia se expresarían con mayor valor porcentual en A.
D	Fibras FIBERMESH (Longitud = 19mm)	0.46	75g <> 614.25g 85g <> 696.15g 95g <> 778.05g (por metro cúbico)	MUESTRAS 75g → 107.00% MUESTRAS 85g → 108.00% MUESTRAS 95g → 109.00%	Se observa una tendencia de incremento de la resistencia a la compresión del concreto, con la adición de fibra sintética.		

✓ Comparando A con E:

TESIS COMPARADAS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA COMPARADA	RELACIONES (a/c) DEL CONCRETO PATRÓN COMPARADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS (HOMOGENIZADAS POR METRO CÚBICO)	RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO FIBRORREFORZADO CON RESPECTO DEL PATRÓN	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN	POSIBLES RAZONES
A	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60	0.50% <> 1625 g 1.00% <> 3250 g 2.00% <> 6500 g (por metro cúbico)	MUESTRAS 0.50% → 106.52% MUESTRAS 1.00% → 115.73% MUESTRAS 2.00% → 114.67%	Se observa una tendencia de incremento de la resistencia a la compresión del concreto, con la adición de fibra sintética.	Comparando A con E: se observó que en ambas investigaciones las muestras de concreto fibrorreforzado presentan una tendencia de incremento de la resistencia a la compresión con respecto del patrón, sin embargo en E se registran incrementos superiores de la resistencia a la compresión.	1. Los incrementos de resistencia a la compresión superiores de E, a pesar de tener una menor dosificación de fibra que en A, podrían deberse a la calidad de la fibra sintética, dado que realizada una comparación de módulos de elasticidad de las fibras se encontró: que la fibra usada en A tiene un MeA = 15000 kg/cm ² y la fibra usada en E tiene un MeE = 52800 kg/cm ² , resultando la fibra usada en E de resistencia y calidad superior. 2. Los incrementos de resistencia a la compresión superiores de E, también podrían deberse a que las fibras en E poseen una mayor longitud que en A, resultando en una mayor fijación de la fibra en el concreto.
E	Chema Fibra de Polipropileno (Longitud = 2 pulg)	0.60	200g 400g 600g (por metro cúbico)	MUESTRAS 200g → 121.94% MUESTRAS 400g → 133.97% MUESTRAS 600g → 123.28%	Se observa una tendencia de incremento de la resistencia a la compresión del concreto, con la adición de fibra sintética.		

V. De los ensayos de resistencia a la tracción:

✓ Comparando A con B:

TESIS COMPARADAS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA COMPARADA	RELACIONES (a/c) DEL CONCRETO PATRÓN COMPARADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS (HOMOGENIZADAS POR METRO CÚBICO)	RESISTENCIAS A LA TRACCIÓN DEL CONCRETO FIBRORREFORZADO CON RESPECTO DEL PATRÓN	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN	POSIBLES RAZONES
A	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60	0.50% <> 1625 g 1.00% <> 3250 g 2.00% <> 6500 g (por metro cúbico)	MUESTRAS 0.50% → 101.30% MUESTRAS 1.00% → 102.59% MUESTRAS 2.00% → 106.12%	Se observa una tendencia de incremento de la resistencia a la tracción del concreto, con la adición de fibra sintética.	Comparando A con B: se observó que en A las muestras de concreto fibrorreforzado presentan una tendencia de incremento de la resistencia a la tracción con respecto del patrón, mientras en B se observó una tendencia variable alternada entre incremento y reducción de la resistencia a la tracción.	1. La tendencia de incremento de la resistencia a la tracción en A, podría estar relacionada con la ductilidad limitada que le confiere la fibra al concreto. 2. Le tendencia irregular de incremento y reducción de la resistencia a la tracción en B, podría deberse a su limitado número de ensayos de laboratorio (3 por cada punto de estudio).
B	Chema Fibra Ultrafina (Longitud = 19mm)	0.60	200g 300g 400g (por metro cúbico)	MUESTRAS 200g → 117% MUESTRAS 300g → 90.1% MUESTRAS 400g → 106%	Se observa una tendencia alternada de incremento y reducción de la resistencia a la tracción del concreto, con la adición de fibra sintética.		

✓ Comparando A con E:

TESIS COMPARADAS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA COMPARADA	RELACIONES (a/c) DEL CONCRETO PATRÓN COMPARADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS (HOMOGENIZADAS POR METRO CÚBICO)	RESISTENCIAS A LA TRACCIÓN DEL CONCRETO FIBRORREFORZADO CON RESPECTO DEL PATRÓN	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN	POSIBLES RAZONES
A	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60	0.50% <> 1625 g 1.00% <> 3250 g 2.00% <> 6500 g (por metro cúbico)	MUESTRAS 0.50% → 101.30% MUESTRAS 1.00% → 102.59% MUESTRAS 2.00% → 106.12%	Se observa una tendencia de incremento de la resistencia a la tracción del concreto, con la adición de fibra sintética.	Comparando A con E: se observó que en A las muestras de concreto fibrorreforzado presentan una tendencia de incremento de la resistencia a la tracción con respecto del patrón, mientras en E se observó una tendencia variable alternada entre incremento y reducción de la resistencia a la tracción.	1. Le tendencia irregular de incremento y reducción de la resistencia a la tracción en E, podría deberse a su limitado número de ensayos de laboratorio (3 por cada punto de estudio).
E	Chema Fibra de Polipropileno (Longitud = 2 pulg)	0.60	200g 400g 600g (por metro cúbico)	MUESTRAS 200g -> 112.18% MUESTRAS 400g -> 110.39% MUESTRAS 600g -> 87.33%	Se observa una tendencia alternada de incremento y reducción de la resistencia a la tracción del concreto, con la adición de fibra sintética.		

VI. De los ensayos de resistencia a la flexión:

✓ Comparando A con C:

TESIS COMPARADAS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA COMPARADA	RELACIONES (a/c) DEL CONCRETO PATRÓN COMPARADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS (HOMOGENIZADAS POR METRO CÚBICO)	RESISTENCIAS A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO FIBRORREFORZADO CON RESPECTO DEL PATRÓN	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN	POSIBLES RAZONES
A	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60	0.50% <> 1625 g 1.00% <> 3250 g 2.00% <> 6500 g (por metro cúbico)	MUESTRAS 0.50% → 101.95% MUESTRAS 1.00% → 102.14% MUESTRAS 2-00% → 101.14%	Se observa una tendencia de incremento de la resistencia a la flexión del concreto, con la adición de fibra sintética. Nota: Se demostró por prueba estadística que dichos incrementos resultan despreciables.	Comparando A con C: se observó que en ambas investigaciones las muestras de concreto fibrorreforzado presentan una tendencia de incremento de la resistencia a la flexión con respecto del patrón, sin embargo en C se registran incrementos superiores de la resistencia a la flexión.	1. Los incrementos de resistencia a la flexión superiores de C, podrían deberse a que las fibras en C poseen una mayor longitud que en A, resultando en una mayor fijación de la fibra en el concreto. 2. Se demostró por prueba de hipótesis (con metodos estadísticos), que los incrementos de resistencia a la flexión en A resultan despreciables.
C	Chema Fibra de Polipropileno (Longitud = 2 pulg)	0.50	200g 400g 600g (por metro cúbico)	MUESTRAS 200g → 104.51% MUESTRAS 400g → 115.69% MUESTRAS 600g → 114.75%	Se observa una tendencia de incremento de la resistencia a la flexión del concreto, con la adición de fibra sintética.		

✓ Comparando A con D:

TESIS COMPARADAS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA COMPARADA	RELACIONES (a/c) DEL CONCRETO PATRÓN COMPARADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS (HOMOGENIZADAS POR METRO CÚBICO)	RESISTENCIAS A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO FIBRORREFORZADO CON RESPECTO DEL PATRÓN	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN	POSIBLES RAZONES
A	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60	0.50% <> 1625 g 1.00% <> 3250 g 2.00% <> 6500 g (por metro cúbico)	MUESTRAS 0.50% → 101.95% MUESTRAS 1.00% → 102.14% MUESTRAS 2-00% → 101.14%	Se observa una tendencia de incremento del peso unitario del concreto, con la adición de fibra sintética.	Comparando A con D: se observó que en ambas investigaciones las muestras de concreto fibrorreforzado presentan una tendencia de incremento de la resistencia a la flexión con respecto del patrón, sin embargo en D se registran incrementos superiores de la resistencia a la flexión.	1. Los incrementos de resistencia a la flexión superiores de D, a pesar de tener una menor dosificación de fibra que en A, podrían deberse a la calidad de la fibra sintética, dado que realizada una comparación de módulos de elasticidad de las fibras se encontró: que la fibra usada en A tiene un MeA = 15000 kg/cm ² y la fibra usada en D tiene un MeD = 38688 kg/cm ² , resultando la fibra usada en D de resistencia y calidad superior.
D	Fibras FIBERMESH (Longitud = 19mm)	0.46	75g <> 614.25g 85g <> 696.15g 95g <> 778.05g (por metro cúbico)	MUESTRAS 75g → 100.99% MUESTRAS 85g → 104.89% MUESTRAS 95g → 109.45%	Se observa una tendencia de incremento de la resistencia a la flexión del concreto, con la adición de fibra sintética.		

✓ Comparando A con E:

TESIS COMPARADAS	TIPO DE FIBRA SINTÉTICA COMPARADA	RELACIONES (a/c) DEL CONCRETO PATRÓN COMPARADAS	DOSIFICACIONES DE FIBRA ESTUDIADAS (HOMOGENIZADAS POR METRO CÚBICO)	RESISTENCIAS A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO FIBRORREFORZADO CON RESPECTO DEL PATRÓN	OBSERVACIÓN	CONCLUSIÓN	POSIBLES RAZONES
A	Sika Cem1-Fiber (Longitud = 20mm)	0.60	0.50% <> 1625 g 1.00% <> 3250 g 2.00% <> 6500 g (por metro cúbico)	MUESTRAS 0.50% → 101.95% MUESTRAS 1.00% → 102.14% MUESTRAS 2.00% → 101.14%	Se observa una tendencia de incremento del peso unitario del concreto, con la adición de fibra sintética.	Comparando A con E: se observó que en ambas investigaciones las muestras de concreto fibrorreforzado presentan una tendencia de incremento de la resistencia a la flexión con respecto del patrón, sin embargo en E se registran incrementos superiores de la resistencia a la flexión.	1. Los incrementos de resistencia a la flexión superiores de E, podrían deberse a que las fibras en E poseen una mayor longitud que en A, resultando en una mayor fijación de la fibra en el concreto. 2. Se demostró por prueba de hipótesis (con metodos estadísticos), que los incrementos de resistencia a la flexión en A resultan despreciables.
E	Chema Fibra de Polipropileno (Longitud = 2 pulg)	0.60	200g 400g 600g (por metro cúbico)	MUESTRAS 200g → 114.43% MUESTRAS 400g → 102.14% MUESTRAS 600g → 115.69%	Se observa una tendencia de incremento de la resistencia a la flexión del concreto, con la adición de fibra sintética.		

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de aditivos plastificantes o súper-plastificantes a partir de dosificaciones de fibra sintética superiores a 0.25% respecto al peso del cemento, dado que se generan pérdidas de asentamiento superiores al 24.00%. que representan aproximadamente pérdidas superiores a la cuarta parte del asentamiento base de diseño.
2. Se recomienda para el concreto fibrorreforzado, una dosificación de fibra sintética de a lo más el 1.00% del peso de cemento. Dado que superado dicha dosificación de fibra, no se registran mayores incrementos en la resistencia a la compresión del concreto, además se observan pérdidas de asentamiento excesivas.
3. Se recomienda el uso de la tabla VII.11 de expresiones del diseño de concreto fibrorreforzado con fibra sintética, solo para concretos con valores de relación a/c entre 0.60 - 0.70. Dado que el estudio y análisis del concreto fibrorreforzado realizado en laboratorio abarco concretos con relación a/c en dicho intervalo.
4. Se recomienda el uso de fibra sintética en obras de concreto armado en general, dado que (además de mejorar sus propiedades resistentes) el concreto fibrorreforzado ante eventualidades sísmicas presentaría un menor desprendimiento de material, en consecuencia se disminuiría el riesgo de daños personales. En el caso particular de obras de concreto de alta resistencia, el refuerzo de fibra sintética controlaría su tipo falla explosiva, otorgándole propiedades dúctiles al concreto.
5. Se recomienda el uso de fibra sintética en climas fríos o templados exceptuando los climas cálidos, dado que la presencia de fibra sintética reduce el tiempo de fragua del concreto fresco, resultando una característica desfavorable en climas de alta temperatura ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- V. Addi Gutiérrez (Lima 19 de mayo 2014). Fibra de coco utilizada para la construcción. Recuperado de: <https://www.nuevamujer.com/bienestar-de-coco-utilizada-en-la-construccion.html>.
- VI. Alibaba.com (2017). Glass Fibre AR Chopped strands Fiber Glass 12 MM for Concrete materials. Recuperado de: https://spanish.alibaba.com/product-detail/Glass-Fibre-AR-Chopped-strands-Fiber_60364069796.html.
- VII. Alvarado, Fernando L. "Estudio de las características del concreto con inclusión de fibras metálicas y cemento Portland Tipo I". Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. UNI – FIC. Lima 2009.
- VIII. American Society of Testing Materials. "Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Cylindrical Concrete Specimens - ASTM C 1231/C1231M-15". EE.UU. 2015.
- IX. American Society of Testing Materials. "Standard Specification for Concrete Aggregates - ASTM C33". EE.UU. 2007.
- X. American Society of Testing Materials. "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading) - ASTM C293/C293M-10". EE.UU. 2010.
- XI. Antillón, Jorge. "Uso de fibras en el concreto". Revista voz del Experto – Pág. 27 - 28. Latinoamérica 2018.
- XII. Barahona Sánchez, Ricardo. "Estudio comparativo de resistencia en probetas compactadas con los métodos por apisonado y por vibración para concretos $a/c=$ 0.60, 0.65 y 0.70". Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. UNI – FIC. Lima 2015.
- XIII. Cadima Pino, Marcelo; Rosas Rodríguez, Jorge y Aguirre Torrico, Francisco. "Comportamiento de hormigones reforzados con y sin fibras". Universidad Privada Boliviana. Sucre 2005.


- XIV. Castro Tomas, Fidel Matías. "Efectos de la fibra de polipropileno en concretos con cemento Portland Tipo V". Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. UNI – FIC. Lima 2009.
- XV. Gonzales Salcedo, Luis Octavio. "Influencia de los componentes del concreto reforzado con fibras en sus propiedades mecánicas". Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira. Palmira 2013.
- XVI. H.W.Fritz, E.Eustacchio. "Mechanical Tests for Bituminous Mixes - Characterization, Design and Quality Control". Proceedings of the Fourth International Symposium held by RILEM (The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures) and organized by RILEM Technical Committee 101-BAT (Bitumen and Asphalt Testing) in cooperation with the Hungarian Chemical Society, the Scientific Society for Transport, the Chair for Road Construction of the Technical University of Budapest, Hungary. Budapest 23–25 October, 1990.
- XVII. INDECOPI. "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. (NTP 339.185 - 2013)". Lima 2013.
- XVIII. INDECOPI, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. (NTP 400.017 - 2011)". Lima 2011.
- XIX. INDECOPI, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. (NTP 400.022 - 2013)". Lima 2013.
- XX. INDECOPI, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. (NTP 400.021-2002)". Lima 2002.
- XXI. INDECOPI, "AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. (NTP 400.012 - 2013)". Lima 2013.

- XXII. INDECOPI, "HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. (NTP 339.035 - 2009)". Lima 2009.
- XXIII. INDECOPI, "HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. (NTP 339.046 - 2013)". Lima 2013.
- XXIV. INDECOPI, "HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración. (NTP 339.082 - 2011)". Lima 2011.
- XXV. INDECOPI, "HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. (NTP 339.034 - 2013)". Lima 2013.
- XXVI. INDECOPI, "HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción simple del hormigón, por compresión diametral de una probeta cilíndrica. (NTP 339.084 - 2012)". Lima 2012.
- XXVII. INEI (Perú 2018). Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017 - Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) – PERÚ. Recuperado de: <http://www.censos2017.inei.gob.pe/redatam>
- XXVIII. Mejía Gómez, Walter Saúl. "Mortero con fibra de madera". Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil. UNI – FIC. Lima 2009.
- XXIX. Rufino Moya C., Gregorio Sarabia A. "Probabilidad e Inferencia Estadística". Editorial San Marcos. Perú 1988.
- XXX. Rivva López, Enrique. "Concreto – Diseño de Mezclas". Fondo editorial ICG. Lima 2010.
- XXXI. SIKA. "Concreto reforzado con fibras". Editorial Sika Colombia S.A. Bogotá 2016.
- XXXII. SIKA. "HOJA TÉCNICA SikaCem – 1 Fiber". Editorial Sika Perú S.A. Perú 2016.


- XXXIII. SIKA. "HOJA TÉCNICA SikaCem Plastificante". Editorial Sika Perú S.A. Perú 2016.
- XXXIV. SITISOLAR (2013). La construcción con tierra cruda: el adobe y la tapia. Recuperado de: <http://www.sitisolar.com/la-construccion-con-tierra-cruda-el-adobe-y-la-tapia>
- XXXV. UNACEM (Perú 2019). Ficha Técnica CEMENTO SOL. Recuperado de: https://www.unacem.com.pe/?page_id=109

ANEXOS

- ✓ ANEXO 1: Constancia de realización de ensayos en el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil
LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por

Engineering
Technology
Accreditation
Commission

CONSTANCIA

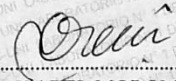
LA JEFA DEL LABORATORIO N° 1 ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, deja constancia que:


El Sr. **CARLOS EVER REINOSO ESTEBAN**, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, solicitó al Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales permiso para la realización de ensayos, Vaciado de probetas, Curado de probetas, Curado de vigas, Vaciado de vigas, Comprensión simple, Tracción por comprensión diametral, en el marco de la Investigación **"ANÁLISIS DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRA SINTÉTICA"**

Se le brindo las facilidades del caso para la realización de dichos ensayos a partir de la fecha del 18 de Diciembre del 2018 hasta el 15 de Abril del 2019.


Se expide la presente constancia a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Lima, 27 de Noviembre del 2019



MSc. Ing. **ISABEL MOROMI NAKATA**
Jefe (e) de Laboratorio




UNI-LEM
La Calidad es nuestro compromiso
Laboratorio Certificado ISO 9001




Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
apartado 1301 - Perú




(511) 381-3343




(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046




www.lem.uni.edu.pe



lem@uni.edu.pe



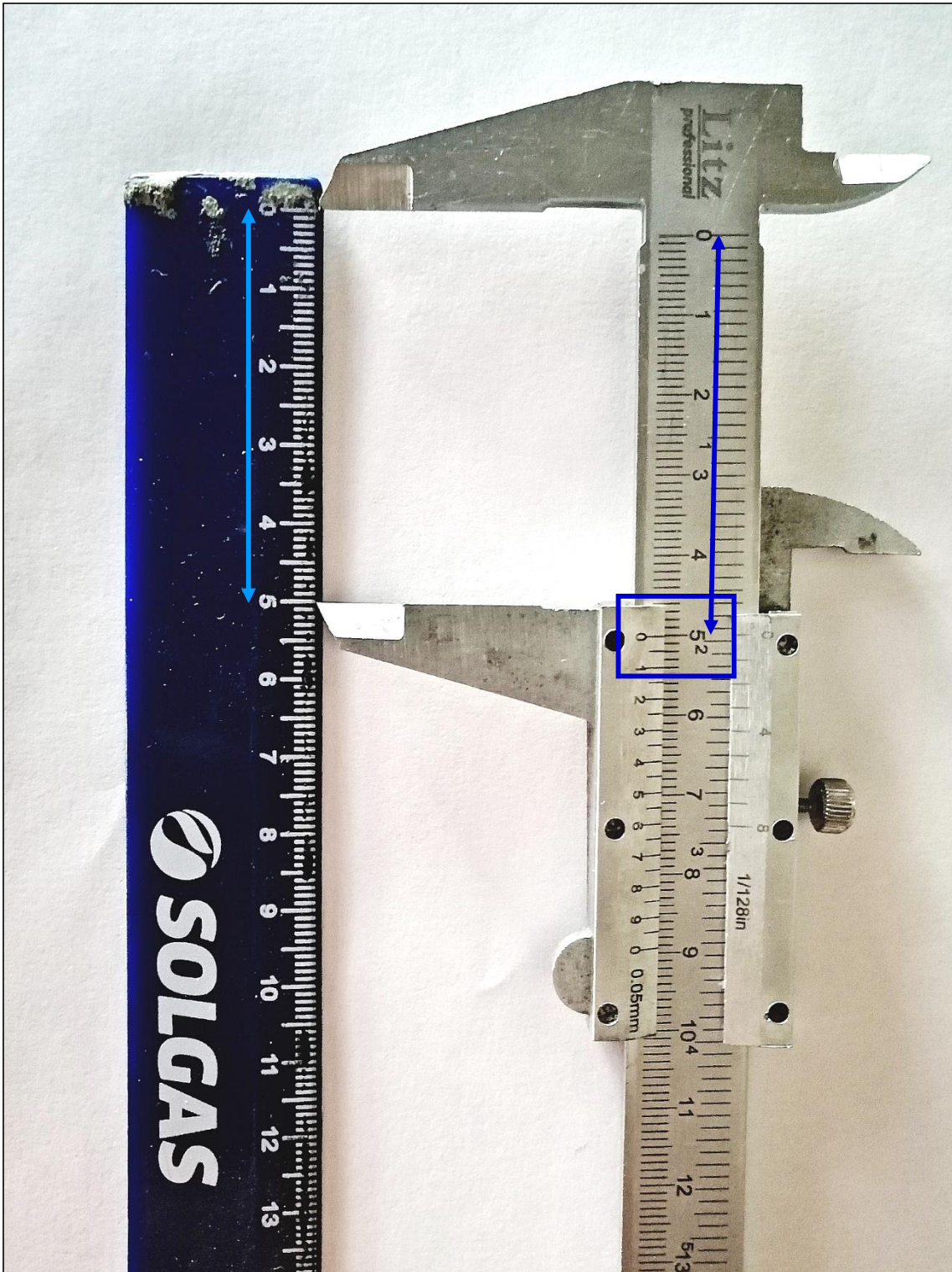
Laboratorio de Ensayo
de Materiales - UNI




**LABORATORIO
CERTIFICADO
ISO 9001**

- ✓ ANEXO 2: Calibración de la regla usada para la medición de asentamiento, usando vernier calibrado.

Para tal efecto se compararon 5.00 cm de la regla con 5.00 cm del vernier calibrado, resultando en mediciones equivalentes como se muestra en la figura adjunta, verificándose así la calibración de la regla.



✓ ANEXO 3: Hoja Técnica de fibra sintética SikaCem-1 Fiber.

**BUILDING TRUST**

HOJA TÉCNICA

SikaCem[®]-1 Fiber

Fibra sintética para el refuerzo de concreto

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	<p>SikaCem[®]-1 Fiber, es un refuerzo de fibra sintética de alta tenacidad que evita el agrietamiento de concretos y morteros.</p> <p>SikaCem[®]-1 Fiber está compuesto por una mezcla de monofilamentos reticulados y enrollados.</p> <p>Durante la mezcla SikaCem[®]-1 Fiber se distribuye aleatoriamente dentro de la masa de concreto o mortero formando una red tridimensional muy uniforme.</p> <p>USOS</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Losas de concreto (placas, pavimentos, veredas, techos, pisos, etc)▪ Mortero y concreto proyectado (Shotcrete).▪ Paneles de fachada.▪ Elementos prefabricados.▪ Revestimientos de canales.
	<p>CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS</p> <p>La adición de SikaCem[®]-1 Fiber sustituye a la armadura destinada a absorber las tensiones que se producen durante el fraguado y endurecimiento del concreto, aportando las siguientes ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Reducción de la fisuración por retracción e impidiendo su propagación.▪ Aumento importante del índice de tenacidad del concreto.▪ Mejora la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad.▪ En mayor cuantía, mejora la resistencia a la tracción y a la compresión.▪ La acción del SikaCem[®]-1 Fiber es de tipo físico y no afecta el proceso de hidratación del cemento.

DATOS BÁSICOS

FORMA	ASPECTO Fibra
	COLOR Crema claro
	PRESENTACIÓN Caja con 18 bolsas x 100 g

ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL Un año en un lugar seco y bajo techo, en envases bien cerrados.
DATOS TÉCNICOS	<p>DENSIDAD REAL APROX. 1.17 kg/L</p> <p>ABSORCIÓN DE AGUA < 2%</p> <p>MÓDULO DE ELASTICIDAD 15,000 kg/cm²</p> <p>ALARGAMIENTO DE ROTURA 2.6%</p> <p>RESISTENCIA A TRACCIÓN 468 kg/cm²</p> <p>RESISTENCIA QUÍMICA Inerte a los álcalis del cemento, ácidos en general, agua de mar, residuos alimentarios y ganaderos, aceites vegetales. No se pudre y es resistente a hongos y bacterias.</p> <p>DURABILIDAD Indefinida</p> <p>TRANSICIÓN VÍTREA 310 °C</p> <p>LONGITUD 20 mm</p> <p>NORMA A los concretos a los que se agregado SikaCem®-1 Fiber cumplen con los requerimientos de la norma ASTM C 1116</p> <p>PRECAUCIONES SikaCem®-1 Fiber no sustituye a las armaduras principales y secundarias resultantes del cálculo. La adición de SikaCem®-1 Fiber no evita las grietas derivadas de un mal dimensionamiento y aunque ayuda a controlarlo, no evita las grietas producto de un deficiente curado. La adición de SikaCem®-1 Fiber es compatible con cualquier otro aditivo de Sika.</p>
INFORMACIÓN DEL SISTEMA	
MÉTODO DE APLICACIÓN	<p>MODO DE EMPLEO Se agrega directamente a la mezcla de concreto o mortero. No disolver en el agua de amasado.</p> <p>DOSIFICACIÓN El SikaCem®-1 Fiber se empleará para todo tipo de concretos según:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 bolsa x 100 g por cada bolsa de cemento de 42.5 Kg.