

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

**UNIDAD DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“OPTIMIZACIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO DE ALTA
RESISTENCIA INICIAL, REFORZADO CON FIBRAS MACRO
SINTÉTICAS Y DE ACERO WIRAND EN LOSAS INDUSTRIALES”**

**PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN TECNOLOGÍA
DE LA CONSTRUCCIÓN**

ELABORADO POR:

ING. YHEYSON JHON GUZMAN ROJAS

ASESOR

MAG. CARLOS ALBERTO VILLEGAS MARTINEZ

LIMA- PERÚ

2024

“OPTIMIZACIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO DE ALTA RESISTENCIA
INICIAL, REFORZADO CON FIBRAS MACRO SINTÉTICAS Y DE ACERO
WIRAND EN LOSAS INDUSTRIALES”

YHEYSON JHON GUZMAN ROJAS

Presentado a la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil en
cumplimiento parcial de los requerimientos para el grado de:

MAESTRO EN TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

2024

Autor : Ing. Yheyson Jhon Guzman Rojas

Recomendado : Mag. Carlos Alberto Villegas Martinez
Asesor de la Tesis

Aceptado por : Dra. Heddy Marcela Jimenez Yabar
Directora (e) de la Unidad de Posgrado

@ 2024; Universidad Nacional de Ingeniería, todos los derechos reservados ó el
autor autoriza a la UNI-FIC a reproducir la tesis en su totalidad o en partes.



DEDICATORIA

A mi padre Luis Guzman que con sus consejos supo
mejorar mi carácter que ayudó a la toma de buenas
decisiones en mi vida.

A mi madre Regina Rojas que con su amor cultivó en mi
los valores de la responsabilidad y respeto. Agradezco a la
vida por aún estar presente a mi lado.

A mis hermanas Lisset y Jennifer por su apoyo
incondicional.

A mis amores, mi esposa Rut Velasquez que gracias a ella
tengo la dicha de ser padre y a mi hijo Joao.



AGRADECIMIENTO

A mi asesor Mag. Ing. Carlos Villegas Martinez, por guiarme y orientarme en los conocimientos científicos de la carrera de ingeniería civil.

A mis docentes del posgrado por brindarme sus conocimientos ingenieriles a lo largo de ésta etapa académica.

Al Ing. Alfredo Peña y Arq. Carlos Perez, por confiar en mis conocimientos académicos y darme la oportunidad de formarme laboralmente en su empresa DESIGN SAC.



ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE.....	v
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE ABREVIACIONES.....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: PROTOCOLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1 Identificación y Descripción del Problema de estudio.....	3
1.1.1 Formulación del Problema General.....	6
1.1.2 Formulación del problema específico.....	6
1.2 Objetivos.....	6
1.2.1 Formulación del Objetivo General.....	6
1.2.2 Formulación de los Objetivos Específicos.....	7
1.3 Hipótesis y variables.....	7
1.3.1 Formulación de la Hipótesis general.....	7
1.3.2 Formulación de las Hipótesis específicas.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Antecedentes de la investigación.....	9
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	9
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	12
2.2 Bases Teóricas.....	13
2.2.1 Descripción general de las fibras.....	13
2.2.2 Concepto de refuerzo del concreto con fibras.....	14
2.2.3 Desempeño del concreto fibroreforzado (CRF).....	15
2.2.4 Propiedades del concreto fibroreforzado.....	16
2.2.5 Mecanismos de control de grietas del concreto reforzado con fibras.....	17
2.2.6 Diseño estructural de losas industriales fibroreforzadas.....	18
2.3 Definición de Términos.....	19
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
3.1 Tipo de investigación.....	20



3.1.1	Enfoque	20
3.1.2	Nivel	21
3.1.3	Diseño.....	21
3.1.4	Métodos.....	21
3.2	Población y muestra.....	21
3.3	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	22
3.4	Técnicas de análisis y procesamiento de datos	23
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN		24
4.1	Materiales	24
4.1.1	Cemento	24
4.1.2	Agua	24
4.1.3	Áridos	25
4.1.4	Fibras.....	25
4.1.4.1	Fibras macrosintéticas	25
4.1.4.2	Fibras de acero	26
4.1.5	Aditivos	28
4.2	Dosificación de la mezcla.....	28
4.3	Nomenclatura de la muestra	29
4.4	Fabricación de la mezcla	30
4.5	Programa de ensayos de las muestras.....	31
4.5.1	Ensayos al concreto en estado fresco	33
4.5.1.1	Ensayo de trabajabilidad y consistencia	33
4.5.1.2	Ensayo de peso volumétrico del concreto	33
4.5.2	Ensayos al concreto en estado endurecido	34
4.5.2.1	Ensayo de Compresión diametral	34
4.5.2.2	Ensayo de Resistencia a compresión	34
4.5.2.3	Ensayo de Módulo de elasticidad	35
4.5.2.4	Ensayo de Resistencia última y tenacidad.....	36
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		38
5.1	Ensayos al concreto en estado fresco	38
5.1.1	Ensayo de trabajabilidad y consistencia.....	38
5.1.2	Ensayo de peso volumétrico del concreto	40
5.2	Ensayos al concreto en estado endurecido	42
5.2.1	Ensayo de Compresión diametral.....	42



5.2.2	Ensayo de Resistencia a compresión.....	44
5.2.3	Ensayo de Módulo de elasticidad.....	47
5.2.4	Ensayo de Resistencia última y tenacidad.....	49
5.3	Evaluación de costos para la fabricación de losas industriales	53
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		55
6.1	Conclusiones.....	55
6.2	Recomendaciones	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		60
ANEXOS		62
Anexo 01: Matriz de consistencia		63
Anexo 02: Ensayos de los materiales del concreto patrón		65
Anexo 03: Resultados de los ensayos al concreto en estado fresco		72
Anexo 04: Resultados de los ensayos al concreto en estado endurecido		74
Anexo 05: Diseño del pavimento fibroreforzado utilizando la metodología TR34		88
Anexo 06: Plano de diseño de la losa fibroreforzada		111
Anexo 07: Costos y presupuestos de las mezclas del concreto de estudio.....		114



LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Cantidad de especímenes para ensayos físicos y mecánicos al concreto	22
Tabla 4.1 Propiedades de las fibras macrosintéticas	26
Tabla 4.2 Propiedades de las fibras de acero.....	27
Tabla 4.3 Dosificación del concreto patrón.....	28
Tabla 4.4 Resumen del ajuste a las muestras de ensayo.....	29
Tabla 4.5 Resumen del nombre y descripción de las muestras	29
Tabla 4.6 Ensayos al concreto en estado fresco	32
Tabla 4.7 Ensayos al concreto en estado endurecido	32
Tabla 4.8 Edad de los ensayos de las muestras de concreto en estado endurecido	32
Tabla 5.1 Resumen del asentamiento de cada mezcla.....	39
Tabla 5.2 Resumen de los resultados del peso volumétrico de las mezclas.....	41
Tabla 5.3 Resultados de la resistencia a tensión de las mezclas.....	42
Tabla 5.4 Resultados de la resistencia a compresión de las mezclas	44
Tabla 5.5 Resultados del módulo de elasticidad de las mezclas	47
Tabla 5.6 Resultados del ensayo a flexotracción de las mezclas.....	49
Tabla 5.7 Resultados de tenacidad de las mezclas	49
Tabla 5.8 Resumen comparativo del presupuesto de losas para cada tipo de mezcla.....	53
Tabla 5.9 Costo por m ² de losa industrial.....	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Ensayos de flexión al concreto sobre vigas.....	14
Figura 4.1 Fibras macrosintéticas: (a) Synthex, y (b) Fibermesh® 650s	26
Figura 4.2 Fibras de acero: (a) Wirand FF1, y (b) Wirand FF4	27
Figura 4.3 Nomenclatura de las muestras de ensayo.....	29
Figura 4.4 Mezclador de concreto (a) y moldes (b) para la fabricación de las muestras	30
Figura 4.5 Colocación de las muestras de concreto en su proceso de curación	31
Figura 4.6 Realización del ensayo de trabajabilidad y consistencia por cono de Abrams ..	33
Figura 4.7 Realización del ensayo de peso volumétrico de la muestra de concreto.....	33
Figura 4.8 Realización del ensayo a compresión diametral a la muestra de concreto	34
Figura 4.9 Realización del ensayo a compresión a la muestra de concreto.....	35
Figura 4.10 Realización del ensayo de módulo de elasticidad a la muestra de concreto	35
Figura 4.11 Realización del ensayo de flexotracción (a) y fisura producida (b).....	36
Figura 4.12 Programa utilizado para determinar la curva de carga y deformación.....	37
Figura 5.1 Influencia de la dosificación de la fibra en el asentamiento del concreto.....	39
Figura 5.2 Influencia de la dosificación de la fibra en el peso volumétrico.....	41
Figura 5.3 Influencia de la dosificación de la fibra en la resistencia a tensión	43
Figura 5.4 Influencia del volumen de la fibra en la resistencia a tensión.....	43
Figura 5.5 Influencia de la fibra a la resistencia a compresión a 7 días	45
Figura 5.6 Influencia del volumen de la fibra a la resistencia a compresión a 7 días	45
Figura 5.7 Influencia de la fibra a la resistencia a compresión a 28 días	46
Figura 5.8 Influencia del volumen de la fibra a la resistencia a compresión a 28 días	46
Figura 5.9 Influencia de la dosificación de la fibra al módulo de elasticidad	48
Figura 5.10 Influencia del volumen de la fibra al módulo de elasticidad	48
Figura 5.11 Esfuerzo vs. CMOD: (a) FF1, (b) FF4, (c) STX y (d) FMS	51
Figura 5.12 Influencia del volumen de la fibra a la tenacidad de las mezclas	52



LISTA DE ABREVIACIONES

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
BSI	British Standards Institute
C&CI	Cement and Concrete Institute
CE	European Conformity
CMOD	Desplazamiento de apertura de la boca agrietada
CRF	Concreto reforzado con fibras
CRFA	Concreto reforzado con fibras de acero
CRFMS	Concreto reforzado con fibras macrosintéticas
CV	Coeficiente de variación
DI	Variable independiente
D _f	Dosificación de fibras
DV	Variable dependiente
EN	Normas europeas
ERMCO	Organización europea del hormigón premezclado
ISO	Organización de normas internacionales
MF	Módulo de finura
V _f	Volumen de fibras

RESUMEN

La incorporación de fibras estructurales al concreto es una técnica eficaz para prevenir la propagación de grietas, mejorando así la ductilidad, durabilidad, tenacidad y resistencia del concreto. La presente investigación muestra los resultados de un estudio experimental de caracterización de concretos reforzados con fibras de acero y macrofibras sintéticas para utilizarse en losas industriales, analizando parámetros como trabajabilidad, peso volumétrico, resistencia a compresión, módulo de elasticidad, resistencia residual y tenacidad.

El programa de ensayos consistió en la elaboración de probetas cilíndricas y prismáticas de concreto reforzado con fibras estructurales donde se seleccionaron dos tipos de fibras de acero y dos tipos de fibras macrosintéticas con relaciones de aspecto longitud-diámetro de 50, 80, 59 y 44. Asimismo se fabricaron probetas de concreto sin ningún tipo de refuerzo como parámetro de referencia, tomando como base el concreto utilizado para losas industriales de 280 kg/cm² a 7 días de resistencia a compresión. La dosificación para cada tipo de fibras se expresó como peso por volumen de concreto de 20, 25 y 30 kg/m³. El parámetro del diseño de mezcla para el concreto sin fibra, se dosificó con un asentamiento de 8 ½” y una relación de agua/cemento de 0.55. En el caso de las mezclas con fibras, se mantuvo el diseño de mezcla del concreto sin fibra, más la adición de la fibra estructural. De los resultados se observó que la longitud, diámetro y dosificación de las fibras aporta beneficios a las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico. La resistencia residual y la tenacidad de todos los conjuntos de muestras aumentó significativamente. También se observó que la relación de aspecto más alta de las fibras estudiadas resultó en un mejor rendimiento de la resistencia a flexión, entre las muestras de concreto reforzado



con fibras. Con respecto al costo de fabricación de una losa industrial fibroreforzada, se obtuvo un ahorro de hasta el 33% con respecto a losas industriales reforzadas con acero tradicional.

Palabras Claves: Fibra de acero, fibra macrosintética, concreto, tenacidad, losas industriales, compresión, trabajabilidad, resistencia residual, flexión.

ABSTRACT

The incorporation of structural fibers into concrete is an effective technique to prevent the propagation of cracks, thus improving the ductility, durability, toughness and strength of concrete. This research shows the results of an experimental study of characterization of concrete reinforced with steel fibers and synthetic macrofibers to be used in industrial slabs, analyzing parameters such as workability, volumetric weight, compressive strength, modulus of elasticity, residual strength and toughness.

The test program consisted of the development of cylindrical and prismatic concrete probes reinforced with structural fibers where two types of steel fibers and two types of macrosynthetic fibers were selected with aspect ratios length-diameter of 50, 80, 59 and 44. Concrete probes without any type of reinforcement will also be manufactured as a reference parameter, taking as a base the concrete used for industrial slabs with a compressive strength of 280 kg/cm² at 7 days. The dosage for each type of fiber is expressed as weight per volume of concrete of 20, 25 and 30 kg/m³. The mix design parameter for the non-fiber concrete was dosed with a slump of 8 ½” and a water/cement ratio of 0.55. In the case of the mixtures with fibers, the mix design of the non-fiber concrete was maintained, plus the addition of the structural fiber. From the results it will be verified that the length, diameter and dosage of the fibers provide benefits to the physical and mechanical properties of hydraulic concrete. The residual strength and toughness of all the sample sets increased significantly. It will also be observed that the higher aspect ratio of the studied fibers resulted in a better flexural strength performance, among the fiber-reinforced concrete samples. Regarding the manufacturing cost of a fiber-reinforced industrial slab, savings of up to 33% were obtained compared to industrial slabs reinforced with traditional steel.



Key words: Steel fiber, macrosynthetic fiber, concrete, toughness, industrial slabs, compression, workability, residual strength, bending.

INTRODUCCIÓN

El concreto simple (no reforzado) es un material compuesto de característica frágil que es fuerte en compresión, relativamente débil en tensión y exhibe una baja capacidad de deformación. Cuando el concreto simple se somete a una carga de tracción, inicialmente se forman grietas en el área más débil de la matriz del concreto: la zona de transición (la interfaz agregado-pasta). Según aumenta la carga de tracción, las grietas dentro de la zona de transición permanecen estables no obstante continúan creciendo en longitud, ancho y número, a medida que se alcanza un rango de inestabilidad. En ese rango, las grietas se propagan rápidamente y se observa una falla frágil.

Por consiguiente, en el concreto de armado simple, una cantidad mínima de barras de refuerzo de acero continuas están estratégicamente incrustadas dentro del concreto para soportar tensiones de tracción y evitar fallas repentinas (frágiles). En cambio, el concreto reforzado con fibras (CRF) emplea una gran cantidad de pequeñas fibras discontinuas, fabricadas de acero o materiales sintéticos, que proporcionan una resistencia a la tracción mejorada en comparación con el concreto simple. Al agregar fibras pequeñas y discretas al concreto simple mejora las propiedades mecánicas endurecidas, como la resistencia a la tracción, la ductilidad, la tenacidad y la resistencia al impacto (ACI 544.1R, 2002). Las fibras se mezclan directamente con el concreto y se distribuyen de forma aleatoria, reduciendo tiempo, mano de obra y costo en determinadas aplicaciones constructivas en relación con el proceso tradicional de fabricación de concreto simple.

Las mejoras en las propiedades físicas y mecánicas del CRF dependen de las propiedades geométricas y mecánicas de las fibras, la distribución y cantidad de las fibras y las características del concreto. Por tanto, el CRF se convierte en una opción eficiente para

la construcción de losas industriales. Para desarrollar mejoras de diseño que promuevan la utilización del concreto fibroreforzado en losas industriales, se llevó a cabo un programa de investigación experimental sobre las propiedades mecánicas adaptadas del concreto reforzado con fibras considerando los parámetros de fibras, el tipo de fibra y sus formas mezcladas incorporadas en el concreto, proporcionando así una comparación. El programa experimental realizó el ensayo de 338 especímenes; 273 en forma de cilindros y 65 en forma de vigas. Se utilizaron las fibras de acero Wirand FF1 y Wirand FF4, con relaciones longitud-diámetro (l_f / d_f) de 50 y 60, y fibras macrosintéticas Synthex y Fibermesh®650s, con relaciones longitud-diámetro (l_f / d_f) de 59 y 44. La dosificación de las fibras se expresó en peso por volumen de concreto de 20, 25 y 30 kg/m³. En el estudio se determinaron las propiedades físicas y mecánicas del concreto simple y CRF sometido a esfuerzos de compresión, tensión y flexión. A partir de los resultados experimentales, se analizaron las propiedades mecánicas básicas CRF (ensayando la resistencia a compresión, módulo de elasticidad y resistencia a tensión indirecta), y las propiedades que caracterizan el desempeño a flexión (capacidad de deformación y capacidad de disipación de energía o tenacidad).

Finalmente, se utilizó el Informe Técnico 34 de la Concrete Society como procedimiento para diseñar y optimizar las propiedades de un concreto fibroreforzado en pisos industriales en base a la resistencia a la compresión, módulo de Young y comportamiento a flexión de las muestras ensayadas.

CAPITULO I: PROTOCOLO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación y Descripción del Problema de estudio

La malla electrosoldada empleada como refuerzo secundario en placas sobre terreno (pisos y pavimentos) se posiciona en la mayoría de los casos en la mitad de la altura del elemento. A edades tempranas (horas) en la mayoría de las ocasiones la parte superior de la placa es la que se retrae más al desecarse y la malla se encuentra muy lejos de esta zona donde se generan los esfuerzos iniciales. Es usual que con la malla electrosoldada se presente una fisuración desordenada antes de las 24 horas. Aun así, las mallas empleadas como refuerzo secundario disponen de algunas limitaciones en cuanto a que su colocación es dispendiosa (tiempo y mano de obra) pero más allá de esto, es el lugar sobre el que todos caminan en la obra y su colocación teórica en el plano termina siendo muy diferente cuando se vacían los elementos en la realidad. Debido a las dificultades de colocación y eficiencia en el destino final de estos refuerzos secundarios, hizo su irrupción en el concreto la utilización de las fibras (Sika Perú, 2013).

Tradicionalmente las losas de fundación para grandes estructuras se diseñan y construyen: con grandes espesores de concreto, con grandes armados de barras de acero y sin juntas funcionales. Los armados tradicionales requieren plazos de obra que deben tenerse en cuenta en la planificación de proyecto y, por tanto, en los costos de ejecución de obra (a mayor plazo de ejecución, mayor costo global). Además, la presencia de estas armaduras compromete a utilizar bombas para la colocación posterior del concreto, lo cual encarece y complica aún más el resultado final. [...] Otra desventaja que se deriva de las soluciones tradicionales es la ausencia de juntas funcionales. Las losas suelen diseñarse de forma continua, sin juntas, donde no deben interrumpirse los armados. Eso condiciona mucho la ejecución puesto que es necesario mover enormes cantidades de concreto y la planificación

de la obra se torna muy difícil, a veces llega al absurdo, pues es imposible suministrar los volúmenes de concreto (Sánchez Agustín, 2015).

Desde una perspectiva económica y social, el refuerzo de acero tradicional (barras o malla soldada) es costoso en cuanto a comprar, transportar y almacenar. La fijación de acero requiere mucho tiempo y costos, puesto que emplea una cantidad considerable de mano de obra. Es un ejercicio potencialmente riesgoso en lugares complejos y peligrosos. Además, el acero es de carácter altamente corrosivo. La alta alcalinidad del concreto ($\text{pH} > 12$) altera el refuerzo de acero dependiendo de la cantidad de cubierta de concreto que esté intacta. Los iones de cloruro y otros químicos se difunden a través del concreto para corroer aún más el acero con el paso del tiempo. [...] Debido a estas razones, hay un creciente interés en las opciones para reducir la cantidad de acero en las obras de concreto, mientras que se mantiene y optimiza el rendimiento estructural del concreto reforzado con acero tradicional (Wong Tommy, 2018)

Al concreto además adicionarle fibra de acero, se le agrega numerosos elementos (madera, acero, fibras de vidrio, etc.) con el fin de ir mejorando la resistencia de la mezcla. El problema radica que no hay una dosis exacta del componente que de la resistencia esperada o solicitada para el concreto reforzado. Al analizar y experimentar, con este material, se ha ido acertando con la dosificación que se debe aplicar a la mezcla de concreto, para obtener la resistencia que se requiere en las construcciones, y con ello asegurar una sobresaliente vida útil a las obras y a su vez disminuyendo el riesgo para la vida humana (Quintana C.D. y Valencia P.A., 2016).

El concreto es objeto de continuas investigaciones en la industria de la construcción. En parte, esto se debe a que este compuesto cuenta con ciertas limitaciones, como una baja capacidad de deformación y una rápida propagación de grietas cuando se somete a esfuerzos de tracción. Para minimizar tales limitaciones, la utilización de fibras para reforzar mezclas de cemento ha mostrado grandes avances en las últimas décadas. A diferencia del refuerzo convencional, que es localizado y requiere montaje previo, las fibras se

mezclan directamente con el concreto y se distribuyen de forma aleatoria, reduciendo tiempo, mano de obra y coste de determinadas aplicaciones con relación al proceso tradicional. La incorporación de fibras a mezclas cementosas promueve una mejora significativa en varias propiedades mecánicas, con énfasis en la tenacidad a la flexión y la resistencia a la fatiga y al impacto. Su función principal es aumentar la capacidad de absorción de energía, ya que actúan como un puente de transferencia de tensiones a través de las grietas, reduciendo su propagación y expansión. Además, el concreto reforzado con fibras aporta una mayor ductilidad en comparación con las matrices no reforzadas, que se vuelven deficientes tras la formación de la primera grieta (Pícolo Salvador R. et al, 2013)

Las losas industriales en el Perú, a menudo se diseñan con acero de refuerzo tradicional (malla de acero corrugado). Las varillas de acero corrugado son costosas, en insumo y en transporte a pie de obra. La colocación de la malla de acero en el pavimento presenta dificultades durante su proceso de trabajo, y con frecuencia la malla termina siendo colocado en una posición distinta con respecto a los planos de diseño. En el fraguado del concreto, el concreto resulta fisurado por retracción plástica en su inicio de vida útil, y durante el proceso de vaciado, se utilizan bombas de concreto, aumentando así el presupuesto. Debido a estas razones, ha habido un creciente interés en las opciones de reducir la cantidad de acero tradicional en las obras de concreto, optimizar los materiales para mitigar el impacto ambiental debido a su proceso de extracción, aumentar rendimientos y reducir costos durante su instalación, por lo tanto, se hace necesario determinar la influencia de las fibras macrosintéticas y de acero a las propiedades físicas y mecánicas del concreto para la utilización en losas industriales.

1.1.1 Formulación del Problema General

¿En qué medida un inadecuado diseño de mezcla del concreto hidráulico fibroreforzado de alta resistencia inicial es consecuencia de la desmejora de las propiedades físicas y mecánicas del concreto y costos en su fabricación?

1.1.2 Formulación del problema específico

- a) ¿De qué manera la inadecuada dosificación del concreto hidráulico para diferentes tipos de muestras de concreto sin fibras, concreto con fibras macrosintéticas y concreto con fibras de acero perjudica las propiedades físicas y mecánicas del concreto?
- b) ¿De qué manera inadecuada los resultados obtenidos de los ensayos de las muestras al concreto en estado fresco perjudican las propiedades del concreto fibroreforzado?
- c) ¿De qué manera inadecuada los resultados obtenidos de los ensayos de las muestras al concreto en estado endurecido perjudican las propiedades del concreto fibroreforzado?
- d) ¿De qué manera inadecuada los costos del concreto reforzado con acero tradicional, fibras de acero y macrofibras sintéticas perjudica el diseño y construcción de las losas industriales?

1.2 Objetivos

1.2.1 Formulación del Objetivo General

- Optimizar las propiedades físicas y mecánicas del concreto fibroreforzado de alta resistencia inicial diseñando la mezcla del concreto hidráulico con una resistencia a compresión de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ a 7 días.

1.2.2 Formulación de los Objetivos Específicos

- Determinar la dosificación del concreto hidráulico para diferentes tipos de muestras: concreto sin fibras, concreto con fibras macrosintéticas y concreto con fibras de acero para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto.
- Analizar los resultados obtenidos de los ensayos de las muestras del concreto en estado fresco: (a) Trabajabilidad y Consistencia, y (b) Peso volumétrico del concreto para optimizar el diseño estructural del concreto fibroreforzado.
- Analizar los resultados obtenidos de los ensayos de las muestras de concreto en estado endurecido: (a) Resistencia a la compresión, (b) Tracción indirecta, (c) Módulo de elasticidad y (d) Resistencia última y tenacidad para optimizar el diseño estructural del concreto fibroreforzado.
- Evaluar los costos de fabricación del concreto reforzados con acero tradicional, con fibras de acero y macrofibras sintéticas para mejorar el diseño de las losas industriales

1.3 Hipótesis y variables

1.3.1 Formulación de la Hipótesis general

a) El diseño de mezcla del concreto fibroreforzado de alta resistencia inicial con una resistencia a compresión $f'c=280$ kg/cm² a 7 días, optimizará sus propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico.

- Variables:

Variable independiente: Fibras de acero y fibras macrosintéticas.

- Dimensiones:

Fibras macrosintéticas en cantidades de: 3 kg, 5 kg y 7 kg por m³ de concreto

Fibras de acero en cantidades de: 20 kg, 25 kg y 30 kg por m³ de concreto

1.3.2 Formulación de las Hipótesis específicas

- b) Al determinar la dosificación del concreto hidráulico para diferentes tipos de muestras: concreto sin fibras, concreto con fibras macrosintéticas y concreto con fibras de acero mejorará las propiedades físicas y mecánicas del concreto.
- c) El análisis de los resultados obtenidos de los ensayos de las muestras del concreto en estado fresco: (a) Trabajabilidad y Consistencia, y (b) Peso volumétrico del concreto optimizará el diseño estructural de la losa fibroreforzado.
- d) El análisis de los resultados obtenidos de los ensayos de las muestras al concreto en estado endurecido: (a) Resistencia a la compresión, (b) Tracción indirecta, (c) Módulo de elasticidad y (d) Resistencia última y tenacidad optimizará el diseño estructural de la losa fibroreforzado.
- e) La evaluación de los costos de fabricación del concreto reforzados con acero tradicional, con fibras de acero y macrofibras sintéticas mejorará el diseño de las losas industriales
- Variables:

Variable dependiente: Propiedades físicas del concreto, propiedades mecánicas del concreto y costos de fabricación de losas industriales
 - Dimensiones:
 - a) Diseño de mezcla: Cemento HS (kg), agregados (kg), aditivo (lt) y agua (lt).
 - b) Propiedades físicas del concreto: Trabajabilidad y Consistencia (pulg), y peso volumétrico del concreto (kg/m^3).
 - c) Propiedades mecánicas del concreto: Resistencia a la compresión (kg/cm^2), tracción indirecta (kg/cm^2), módulo de elasticidad y tenacidad (J).
 - d) Costo de fabricación de losa industrial (\$).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Shi Xijun, P.P, et al. (2020), “Constitutive behaviors of steel fiber reinforced concrete under uniaxial compression and tension”. Se desarrolla el estudio de los comportamientos constitutivos del concreto que contiene dos tipos de fibras de acero (es decir, rectas y en forma de gancho) con contenidos de volumen de fibra variables hasta 3,0%. Primero se examinaron la calidad de la mezcla y las propiedades en fresco del CRFA, seguido de la captura de las curvas de tensión-deformación de rango completo del CRFA bajo condiciones de carga de tracción y compresión uniaxial. Luego, los datos recopilados se analizaron y compararon con los datos de la literatura. El efecto de las fibras de acero sobre diversos parámetros constitutivos de CRFA se evaluó mediante análisis estadísticos. Finalmente, se propusieron las relaciones constitutivas ideales del CRFA estudiado. Se concluye lo siguiente:

- El módulo de elasticidad bajo tensión no es igual al de compresión. El módulo de elasticidad a compresión fue 2,2 veces el de tracción para el concreto simple, y para los CRFA, la relación fue cercana a 1,5.
- La adición de fibras no cambió significativamente la resistencia a la compresión del concreto, mejoró el comportamiento posterior al agrietamiento del concreto bajo compresión. La mejora en el comportamiento de tracción del concreto fue mucho más notable. Los CRFA rectos obtuvieron una mayor resistencia a la tracción que los en forma de gancho, lo que probablemente se debe al mayor número de interfaces de matriz de fibrocemento. Los CRFA con gancho, mostraron un mejor rendimiento en términos de ductilidad, resistencia residual y tenacidad

Lopez Román, J. (2015) en su investigación “Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: Influencia del tipo y consumo de fibra adicionado”. En la Universidad Nacional Autónoma de México, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, Ciudad de México, México. Se concluye lo siguiente:

- La inclusión de fibras de acero y de macrofibras de polipropileno en las mezclas de concreto favorece de manera sustancial a disminuir la aparición de grietas por contracción plástica; conforme se aumenta el consumo de fibra se logra disminuir en número, espesor y longitud las grietas. Para porcentajes volumétricos iguales de ambas fibras resulta evidente que la macrofibra de polipropileno obtiene un mejor desempeño que la fibra de acero para el control de grietas.
- Conforme se incrementa el consumo de fibra, la tenacidad aumenta proporcionalmente para ambos casos. Los valores más altos de tenacidad son los obtenidos con los concretos reforzados con fibras cortas de acero.
- La tenacidad es una de las propiedades en donde los dos diferentes tipos de fibra proporcionan un beneficio considerable. La mezcla sin ningún consumo de fibra (M1) obtiene una tenacidad de 5.20 JOULES; con solo agregar un porcentaje volumétrico de fibra del 0.51%, para las fibras metálicas aumentan la tenacidad 18 veces mientras que las macrofibras de polipropileno 10.5 veces, ambos con respecto al mismo concreto sin fibras. Conforme se incrementa el consumo de fibra, la tenacidad aumenta proporcionalmente para ambos casos. Los valores más altos de tenacidad son los obtenidos con los concretos reforzados con fibras cortas de acero.

Ramírez F. y Samaniego J. (2016) en su investigación “Estudio comparativo de los efectos sobre la resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibras (HRF) usando macro fibras de acero Dramix RC-6535-BN y polipropileno Tuf-Strand SF”. En la

Universidad Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Quito, Ecuador. Se concluye lo siguiente:

- Los especímenes de HRF presentaron mejor comportamiento post-agrietamiento al continuar el proceso de carga después de la aparición de la fisura, este efecto concuerda con el aumento de la tenacidad descrito en la bibliografía (ACI-Comité-544, 2010).
- La adición de fibras otorga al concreto una mayor resistencia a la flexión, la carga máxima alcanzada con las vigas patrón fue de 8.9 KN mientras que con las fibras DRAMIX REC-65/35-BN y TUF-STRAND SF se logró alcanzar 12KN y 10 KN, respectivamente, esto es una resistencia adicional a la flexión de entre 20% y 30% con las fibras DRAMIX REC-65/35, y de hasta un 11% con las fibras TUF-STRAND SF.
- La tenacidad del HRF se incrementa con la adición de fibras, de 53 a 74 veces con el empleo de las fibras DRAMIX RC-65/35-BN respecto de la tenacidad del concreto simple, mientras que para las fibras TUF-STRAND SF se incrementó entre 23 y 50 veces pese que su comportamiento no es estructural.

Reyes Gonzales, I.S. (2016) realiza la investigación “Caracterización del comportamiento de hormigones reforzados con fibras de acero tipo 3D, 4D y 5D, usando ensayo ASTM C1609”. En la Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Obras Civiles, Valparaíso, Chile. Se concluye lo siguiente:

- Las tenacidades para la fibra 3D son mayores en las dosificaciones de 20 kg/m³ y 25 kg/m³ que para los otros tipos de fibra 4D y 5D. Fluctuando entre 67 y 75 Joule, ya que al ser mayor la dosificación se cuenta con una mayor cantidad de fibra 3D, respecto a 4D y 5D, aproximadamente un 30 % más de fibras que el resto; lo que permite una mejor distribución en el amasado

- No se determinan grandes variaciones entre los nuevos tipos de fibras con los distintos tipos de dosificaciones, se considera que la fibra 3D a pesar de no poseer dobleces que aseguren su agarre, y al contar con más fibras por metro cúbico que el resto, se asegura una homogeneidad en el amasado, obteniéndose como resultado mayor absorción de energía post agrietamiento, para la dosificación óptima de 25 kg/m³ siendo un valor intermedio entre el mínimo expuesto por los fabricantes de 15 kg/m³ y el máximo propuesto por las investigaciones de 40 kg/m³. En consecuencia, los dobleces de los nuevos tipos de fibras no realizan un gran aporte a la resistencia.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Valero Galarza, J.F. (2015) realiza la investigación “Influencia de las fibras de polipropileno en la fisuración asociadas a la retracción plástica en pavimentos de concreto, Huancayo 2014”. En la Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Civil, Huancayo, Perú. Se concluye lo siguiente:

- El empleo de fibras de polipropileno en las mezclas de concreto modifica su consistencia medida a través del asentamiento con el cono de Abrams, se obtiene una reducción del 10% con la dosis mínima para ambos tamaños de fibra, en tanto la reducción máxima es del 40% y 45% con la dosis mayor para 19 mm y 50 mm de tamaño de fibra respectivamente. La adición de fibras influye negativamente en la trabajabilidad del concreto.
- Las fisuras por retracción plástica en el concreto disminuyen significativamente con el empleo de las fibras de polipropileno, en efecto, hay una relación inversa, es decir, según se va aumentando la dosis de fibra va disminuyendo las fisuras.
- Al incorporar fibras de polipropileno en las mezclas de concreto en las diferentes dosis genera un ligero incremento, no significativo, en la resistencia a la compresión

entre el 1% al 10% a los 7, 28 y 45 días con respecto a la mezcla patrón. La dosis de 900 g/m³ para ambos tamaños de fibra obtienen mejor respuesta en esta propiedad, puesto que a los 7, 28 y 45 días se comporta de manera favorable.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Descripción general de las fibras

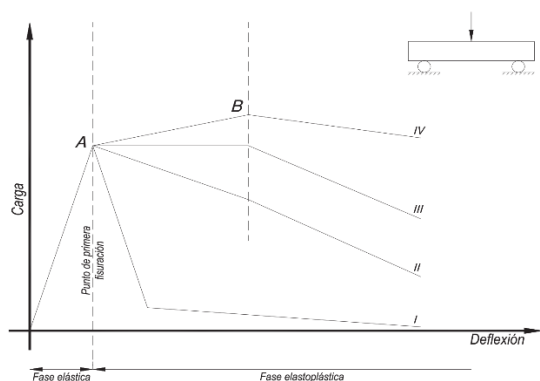
Hermanus, L.B. (2017), “Generic Model for Predicting the Performance of Macro-Synthetic Fibre Reinforced Concrete for Industrial Flooring Applications”. Los materiales cementosos son frágiles y cuando son sometidos a una tensión de tracción, la matriz no reforzada presenta una respuesta elástica limitada que es rápidamente seguida por microfisuras, macrofisuras localizadas y, finalmente, ruptura. La introducción de varios tipos de fibras cortas no mejora significativamente la respuesta elástica o la tensión a la que se produce el agrietamiento por primera vez en el material endurecido, pero el beneficio de la inclusión de fibras en el material endurecido se relaciona con su estado posterior al agrietamiento. Las fibras se incorporan a numerosos materiales utilizados en la profesión de la ingeniería para mejorar sus propiedades. Estas propiedades mejoradas incluyen es la resistencia a la tracción, resistencia a la compresión, módulo elástico, resistencia al agrietamiento y control de grietas, durabilidad, vida a la fatiga, resistencia al impacto y a la abrasión, contracción, expansión, características térmicas, resistencia al fuego, etc. Las deficiencias del concreto no reforzado desarrollan una baja resistencia a la tracción y una baja capacidad de deformación en el momento de la fractura, se superan tradicionalmente mediante la adición de barras de refuerzo de acero que son continuas y están ubicadas específicamente para optimizar el rendimiento. Las fibras son discontinuas y generalmente se distribuyen aleatoriamente en toda la matriz, lo que da como resultado un bajo contenido

de fibra en áreas críticas. Por lo tanto, las fibras se consideran principalmente como refuerzo secundario y se utilizan en aplicaciones estructurales con refuerzo convencional.

2.2.2 Concepto de refuerzo del concreto con fibras

Galloovich S., B. R., et al. (2007), “Fibras como elemento estructural para el refuerzo del concreto”. Las fibras con una adecuada resistencia mecánica a la tracción, homogéneamente distribuidas en el concreto, constituyen una micro armadura la cual, se muestra eficaz para contrastar el fenómeno de fisuración por retracción y, además de conferir al concreto una ductilidad que llega a ser cuantioso en la medida en que sea elevada la resistencia de las fibras y su cantidad, confiriendo en tales circunstancias una elevada tenacidad al concreto. En la mayoría de los actuales códigos de diseño, la resistencia a tracción del concreto (debido a su conducta frágil), es normalmente despreciada en las consideraciones de cálculo. Con la inclusión de una matriz fibroreforzada, esta propiedad de resistencia a tracción se logra estabilizar, de manera tal que la misma es considerada como propiedad mecánica con fines de diseño. En la figura 2.1 ilustra cualitativamente las respuestas, que se obtienen mediante los referidos ensayos de flexión, representadas mediante gráficos de carga vs. abertura de fisura o carga vs. deflexión.

Figura 2.1 Ensayos de flexión al concreto sobre vigas



Fuente: Gallovich S., B. R., et al. (2007), “Fibras como elemento estructural para el refuerzo del concreto”

La curva I esquematiza el comportamiento de un concreto simple sin refuerzo. La estructura, siendo isoestática, una vez alcanzada la carga de primera fisuración, esta colapsa de inmediato, siendo el típico comportamiento de un material frágil. La curva II muestra la capacidad del concreto fibroreforzado para absorber después del punto de primera fisuración cierta carga, aunque baja (A-B), y luego un colapso más lento. La curva III es típica de un material dúctil el cual muestra un concreto capaz de soportar, a partir del punto de primera fisuración, un desplazamiento importante (A-B) bajo carga constante, antes del colapso que es verificado de una manera más lenta. La curva IV finalmente evidencia un concreto con un cierto incremento de carga portante bajo un amplio desplazamiento (A-B), después del punto de primera fisuración.

2.2.3 Desempeño del concreto fibroreforzado (CRF)

ACI Committee 544.4R (2018), “Guía para diseñar con concreto reforzado con fibra”. A diferencia de las barras de refuerzo, las fibras se distribuyen uniformemente en el concreto y la distancia promedio entre las fibras es mucho menor que el espacio típico para las barras de refuerzo. Como resultado, las fibras soportan las tensiones de tracción en etapas muy tempranas del proceso de agrietamiento y, por lo tanto, el desarrollo y los patrones de las grietas cambian con respecto al concreto simple o reforzado convencionalmente. La decisión sobre el tipo, material, tamaño, geometría y dosificación de las fibras depende de la aplicación y de la exposición ambiental. Por último, el rendimiento del CRF debe evaluarse utilizando métodos de prueba estándar para la aplicación para la que se utiliza. El refuerzo de fibra cambia la respuesta del concreto después de la fisura de frágil a dúctil bajo diversos tipos de cargas, incluidas compresión, tensión, flexión e impacto. La adición de fibras al concreto mejora especialmente la resistencia al agrietamiento y la tenacidad bajo cargas de tracción y flexión. Por lo tanto, se utilizan con fines estructurales y para reducir la cantidad

de refuerzo convencional requerido. La reducción de barras de refuerzo de acero es más significativa en estructuras con múltiples grados de redundancia. En flexión, no se producen cambios importantes hasta el punto de fisuración del concreto. No se espera que las fibras modifiquen el comportamiento de los elementos no fisurados porque los mecanismos de refuerzo de las fibras se activan principalmente mediante el desarrollo de grietas. Cuando no está fisurado, se infiere que el CRF es homogéneo e isotrópico, pero esta suposición no es válida para el CRF en su estado fisurado. Después del agrietamiento, las fibras unen las grietas y comienzan a soportar tensiones de tracción, lo que le da capacidad de carga al CRF en su estado agrietado. Esto suele denominarse resistencia residual o resistencia post-fisura. Se ha demostrado que el acero y las macrofibras sintéticas mejoran significativamente la respuesta del concreto después de las fisuras, proporcionando valores de resistencia residual que son utilizadas con fines de diseño.

2.2.4 Propiedades del concreto fibroreforzado

EUROPEAN READY MIXED CONCRETE ORGANIZATION (2012), “Guidance for fiber concrete: properties, specifications and practices in Europe”.

a) Propiedades en estado fresco del concreto fibroreforzado

La adición de fibras al concreto influye en sus propiedades de frescura. Es importante comprender los efectos probables de la adición de fibras de acero o de polímero (o ambos tipos). Están afectados, por ejemplo, la consistencia, el contenido de aire, la exudación y la capacidad de bombeo.

b) Propiedades en estado endurecido del concreto fibroreforzado

Las fibras de acero y macrofibras afectan significativamente las propiedades endurecidas de las siguientes maneras: mayor resistencia a la tracción por flexión post-fisura, mayor resistencia al corte, mayor resistencia al impacto, anchos de fisura reducidos (Diseño en

Estado Límite de Servicio) y mayor resistencia a la fatiga. Las propiedades del concreto en estado endurecido es la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción posterior a la fisura, resistencia al fuego, resistencia al impacto, resistencia al corte, durabilidad y flexión

2.2.5 Mecanismos de control de grietas del concreto reforzado con fibras

Dopko, M. (2019), “Fiber reinforced concrete: Tailoring composite properties with discrete fibers”. El objetivo principal de incluir fibras en el concreto es prevenir o controlar la propagación de grietas en el compuesto. El agrietamiento por contracción plástica temprana se reduce o elimina mediante la inclusión de fibras en dosis bajas. La inclusión de fibras es beneficiosa para una amplia gama de propiedades del compuesto endurecido relacionadas con el control de grietas que dependen en gran medida no sólo del tipo de fibra y la tasa de dosis, sino también de las dimensiones de las fibras. El agrietamiento del concreto es un proceso multiescala que inicia a microescala cuando comienzan a formarse grietas bajo la aplicación de tensión en la zona de transición interfacial (ITZ) entre los agregados y la pasta de cemento. Estas microfisuras se extenderán a través de la pasta a un nivel micro a medida que se encuentren con otras microfisuras y eventualmente se propagarán hasta convertirse en una macrofisura grande. Una vez que una macrogrieta se ha formado completamente y la grieta se ha ensanchado más allá de la etapa de bloqueo del agregado, el concreto no obtendrá capacidad de carga y se considerará que ha fallado. Este tipo de mecanismo multiescala se formará en cualquier lugar donde haya suficiente tensión de tracción en el concreto sin refuerzo para evitar la falla por tracción a medida que la grieta se ensancha. La progresión de las grietas en múltiples escalas en el concreto, diferentes tamaños de fibras dispersas por todo el concreto serán beneficiosos en las diferentes etapas del crecimiento de las grietas. Cuando se retira el agregado grueso del sistema del concreto reforzado con fibras, las propiedades en estado fresco y el comportamiento de fractura

endurecido del compuesto cambian drásticamente como resultado de la mayor homogeneidad de la matriz.

2.2.6 Diseño estructural de losas industriales fibroreforzadas

CONCRETE SOCIETY TR34 (2013), “Concrete industrial ground floors: A guide to design and construction”. Los objetivos principales del diseño de losas son soportar las cargas previstas y evitar el agrietamiento de la superficie. Para las cargas puntuales habituales de las estanterías de almacenamiento, las entreplantas y los equipos de manipulación de materiales (MHE), es probable dos modos de fallo de resistencia última: la flexión y el punzonamiento. El diseño de las losas para la flexión bajo cargas puntuales en el estado límite último (ULS) se basa en la teoría de las líneas de fluencia, que requiere una ductilidad adecuada para asumir el comportamiento plástico. Evidentemente, se requiere una capacidad de rotación suficiente de las líneas de fluencia de pandeo para que se movilice la capacidad de momento de accionamiento. En el ULS, se supone que el momento flector a lo largo de las líneas de fluencia de hundimiento (momento positivo) es el valor plástico completo (o residual posterior a la fisuración). Como uno de los principales requisitos de servicio es evitar las grietas en la superficie superior, el momento flector de la losa a lo largo de las líneas de fluencia de hundimiento se limita al momento de fisuración de diseño del concreto, aunque con el factor de seguridad parcial apropiado para el ULS. No se trata de un verdadero ULS, ya que la losa no se habrá derrumbado y el proceso de diseño está cumpliendo en realidad un requisito de servicio. De ello se deduce que no hay comprobaciones de diseño separadas para la capacidad de servicio. El cálculo contra el punzonamiento de la losa alrededor de las cargas concentradas se basa en el enfoque del Eurocódigo 2 para losas suspendidas. Parte de la carga se transfiere directamente al suelo a través de la losa. Las cargas lineales y las cargas uniformemente distribuidas se evalúan

mediante un análisis elástico con referencia a las vigas de Hetenyi sobre cimientos elásticos.

El espesor mínimo de diseño recomendado para una losa apoyada en el suelo es de 150 mm.

2.3 Definición de Términos

- a) Tenacidad: Energía total que absorbe un material antes de alcanzar la rotura, por acumulación de deformaciones. En la mineralogía la tenacidad es la resistencia que opone un mineral u otro material a ser roto, molido, doblado, desgarrado o suprimido, siendo una medida de su cohesión.
- b) Flexotracción: Ensayo de tracción que consiste en la rotura de una probeta prismática mediante la aplicación de una carga a flexión.
- c) Ductilidad: Esta es una medida de la capacidad de un material para sufrir una deformación plástica apreciable bajo tensiones de tracción antes de romperse. La ductilidad de una estructura se define de la misma manera que una medida de la capacidad de sufrir una deformación apreciable bajo fuerzas de tracción antes de fallar.
- d) Fibras: Las fibras son pequeños pedazos discontinuos de acero, polipropileno, nylon, etc. con un aspecto o esbeltez (relación entre longitud y diámetro) que varía entre 20 y 100 y con muchas secciones transversales. Algunas fibras de acero cuentan con extremos conformados para mejorar la resistencia al arrancamiento de la matriz a base de cemento.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de investigación

3.1.1 Enfoque

El tipo de la investigación con respecto al enfoque es CUANTITATIVA porque 6 de las 7 características epistemológicas son de la característica cuantitativa.

- En la percepción de la realidad la investigación es OBJETIVA porque se basa en aspectos derivados de medición y recolección de datos basados en ensayos experimentales para determinar las propiedades del concreto fibroreforzado.
- Respecto al razonamiento la investigación es INDUCTIVA porque se basa en la observación y la experimentación para obtener una conclusión general a partir de ensayos específicos al concreto fibroreforzado.
- Respecto a la finalidad la investigación está orientada a la comprobación mediante el registro de datos en el laboratorio de ensayo de materiales, confirmación considerando análisis de la información.
- La investigación está orientado al resultado porque las mediciones y análisis de la información recolectada en los ensayos de laboratorio permiten lograr resultados y conclusiones en la investigación.
- Respecto al principio de la verdad la investigación particulariza el estudio según la dosificación de las fibras para optimizar el concreto fibroreforzado.
- Respecto a la perspectiva del investigador la investigación se encuentra al margen de los datos porque la información procede de las mediciones directas a los ensayos realizados al concreto fibroreforzado.

- La causalidad de la investigación está basada en las dosificaciones de las fibras estructurales para optimizar el concreto fibroreforzado para la utilización en losas industriales.

3.1.2 Nivel

El tipo de la investigación con respecto al alcance es APLICADA porque se enfocó en resolver problemas patológicos, de diseño y construcción de concretos utilizados en losas industriales. Por lo tanto, esta investigación ayudó a encontrar soluciones concretas y prácticas a la optimización de las propiedades físicas y mecánicas del concreto fibroreforzado.

3.1.3 Diseño

El diseño de la investigación es EXPERIMENTAL porque se trató de una investigación que pertenece al ámbito de la estadística que permite valorar las causas y los efectos de una variable sobre otra, modificando la variable independiente (mezcla del concreto hidráulico fibroreforzado) para cuantificar los efectos que tendrá en la variable dependiente (propiedades físicas y mecánicas del concreto y costos en su fabricación).

3.1.4 Métodos

Es un investigación hipotética-deductiva ya que consistió en elaborar hipótesis a partir de fenómenos observados mediante la inducción.

3.2 Población y muestra

La población se considera a las losas industriales fabricados de concreto fibroreforzado, estudiadas en ambientes que se encuentran en contacto permanente con el agua, como estaciones portuarias, o en climas húmedos.

La muestra son los especímenes de concreto (ver Tabla 3.1) con resistencia a la compresión de $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ a 7 días, que contiene cemento tipo HS, agregado grueso, agregado fino, agua, aditivo reductor de agua y dosificaciones de fibras macrosintéticas en proporción de 3, 5 y 7 kg/m^3 y de acero en proporción de 20, 25 y 30 kg/m^3 .

Tabla 3.1 Cantidad de especímenes para ensayos físicos y mecánicos al concreto

Ensayos	Normativa	Sin fibras (und)	Con fibras macrosintéticas (und)	Con fibras de acero (und)	Total de ensayos (und)
Trabajabilidad y consistencia	ASTM C 143	3	18	18	13
Peso volumétrico del concreto	ASTM C 138	3	18	18	13
Compresión diametral	NTP 339.084	3	18	18	13
Resistencia a compresión	ASTM C 39	9	54	54	117
Módulo de elasticidad	ASTM C 469	3	18	18	39
Resistencia última y tenacidad	EN 14651	5	30	30	65
TOTAL		20	156	156	338

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas e instrumentos utilizadas para la recolección de datos fueron:

- Observación participante donde el investigador forma parte del medio donde se desarrolla el estudio. Los datos para recopilar son: los materiales a utilizar para el diseño de mezclas del concreto, las dimensiones de los diferentes especímenes a ensayar, las especificaciones técnicas de los equipos mecánicos para los ensayos de los especímenes. Para esto se tomó nota de todos los datos.

- Referencia bibliográfica que permite la revisión de información del cual pertenece el estudio, donde las fuentes fueron publicaciones, libros, revistas científicas y tesis de investigación.
- Ficha de observación donde proporcionó los registros de las observaciones del estudio, anotaciones de las características de los especímenes, horarios y resultados obtenidos.

3.4 Técnicas de análisis y procesamiento de datos

Las técnicas de análisis y procesamiento de datos será la edición, revisión y codificaciones de los datos. Se recopilará y registrará los datos para luego ser analizados y que permitan desarrollar opciones de solución al factor estudiado.

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presenta el programa experimental que se ha llevado a cabo para determinar la viabilidad de fabricar concretos fibroreforzados para losas industriales y comparar sus diferentes combinaciones, respecto a los realizados con concretos tradicionales. Primero se describirá los materiales a usar en la mezcla de concreto. A continuación, se expondrán y explicarán la dosificaciones y nomenclaturas de la mezcla. Luego se describirá el proceso de fabricación de la mezcla. Por último, se explicará el programa de ensayos al concreto en estado fresco y endurecido.

4.1 Materiales

Para medir el rendimiento del concreto reforzado con fibras (CRF), es importante que se conozcan y comprendan las propiedades materiales de los componentes del compuesto.

Este capítulo se presenta detalles de cada material constituyente que se utilizaron en el diseño de mezcla.

4.1.1 Cemento

Para la realización de las muestras de concreto, se utilizó un cemento Tipo HS. Es un cemento portland especializado, diseñado para todo tipo de estructuras y construcciones en general que requieran una alta resistencia a los sulfatos. La cantidad de cemento se ha mantenido estable en todas las dosificaciones. Ver ficha técnica en Anexo A02.4.

4.1.2 Agua

El agua utilizada para la realización del concreto ha sido agua potable suministrado por Sedapal S. A., que es una empresa estatal peruana creada en 1962. Brinda prestaciones de

agua potable y alcantarillado al sector urbano de la ciudad de Lima. Sedapal S.A. gestiona el abastecimiento de agua potable del área metropolitana de Lima y Callao.

4.1.3 Áridos

Para la realización de las muestras de concreto, se utilizó agregado fino y agregado grueso procedente de la cantera ARIDS RIBAS SAC. que es una empresa de áridos con experiencia en el sector de la construcción en el Perú. Sus materiales cumplen con los requisitos de controles de calidad de las normativas ASTM, AASHTO y NTD.

La cantidad de áridos se ha mantenido estable en todas las dosificaciones. Ver informe de los ensayos realizados al agregado fino y grueso en el Anexo A02.1 y A02.2.

4.1.4 Fibras

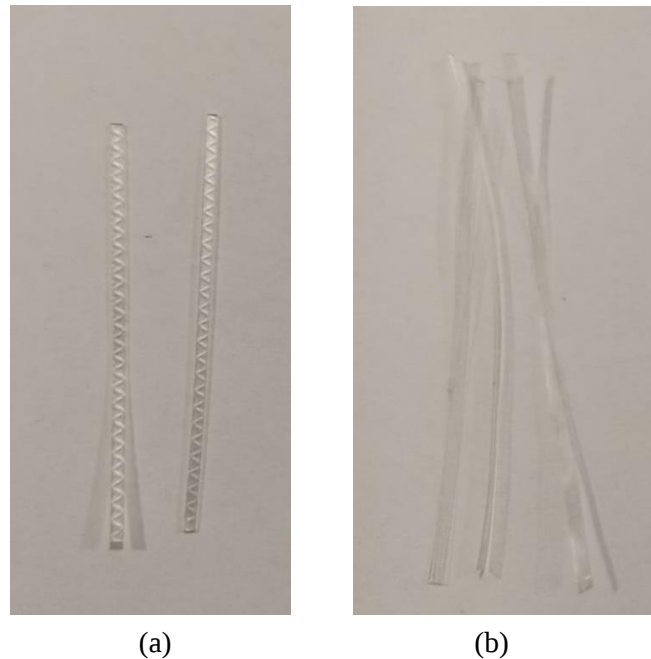
Se empleó fibras macrosintéticas y fibras de acero de diferentes características. Estas fibras se han aplicado en diferentes dosificaciones.

4.1.4.1 Fibras macrosintéticas

Las fibras de polipropileno adicionadas al concreto pertenecen a la empresa Sika Perú. El nombre comercial de las fibras es SYNTHEX y FIBERMESH® 650S, y se adicionó al concreto en tres cantidades diferentes: 3kg/m^3 , 5kg/m^3 y 7kg/m^3 .

La Figura 4.1 ilustra las fibras macrosintéticas utilizadas en las muestras de concreto. Las propiedades de la fibra se documentan en la Tabla 4.1. Ver fichas técnicas de las fibras macrosintéticas en Anexo A02.7.

Figura 4.1 Fibras macrosintéticas: (a) Synthex, y (b) Fibermesh® 650s



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.1 Propiedades de las fibras macrosintéticas

Características	Synthex	Fibermesh® 650s
Diámetro (mm)	1.10	1.35
Longitud (mm)	65	60
Relación de aspecto	59	44
Módulo elástico (MPa)	5,400	5,400
Densidad (gr/cm ³)	0.91	0.91
Resistencia a la tensión (MPa)	625	613
Cantidad de fibras (und/kg)	62,500	146,200

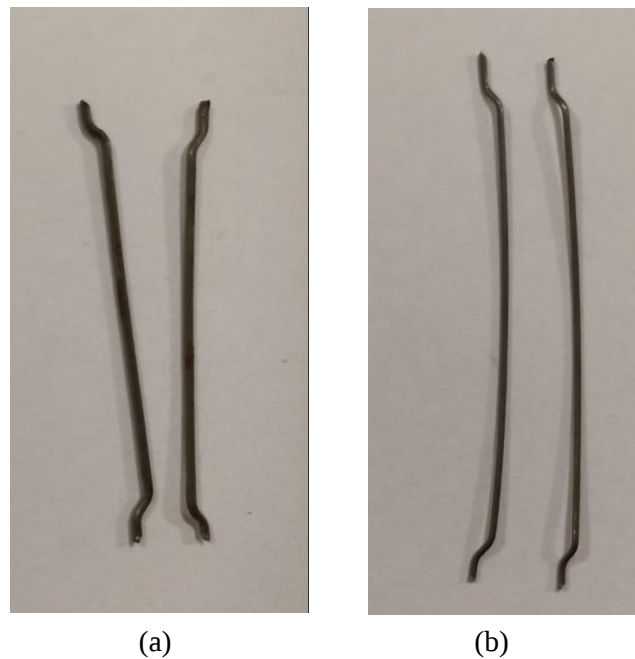
4.1.4.2 Fibras de acero

Las fibras de acero adicionadas al concreto pertenecen a la empresa Maccaferri Construction.

El nombre comercial de las fibras es WIRAND FF1 y WIRAND FF4, y se adicionó al concreto en tres cantidades diferente: 20kg/m³, 25 kg/m³ y 30kg/m³.

La Figura 4.2 ilustra las fibras de acero utilizadas en las muestras de concreto. Las propiedades de la fibra se documentan en la Tabla 4.2. Ver fichas técnicas de las fibras de acero en Anexo A02.6.

Figura 4.2 Fibras de acero: (a) Wirand FF1, y (b) Wirand FF4



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2 Propiedades de las fibras de acero

Características	Wirand FF1	Wirand FF4
Diámetro (mm)	1.00	0.75
Longitud (mm)	50	60
Relación de aspecto	50	80
Módulo elástico (MPa)	210,000	210,000
Densidad (gr/cm ³)	7.84	7.84
Resistencia a la tensión (MPa)	1,100	1,200
Cantidad de fibras (und/kg)	3,212	4,806

4.1.5 Aditivos

Para proporcionar adecuada trabajabilidad a la mezcla del concreto se consideró un agente reductor de agua. Se ajustó la dosis del aditivo para proporcionar adecuado trabajabilidad y consistencia al concreto en estado fresco. Trabajabilidad y consistencia se midieron utilizando una prueba de asentamiento de acuerdo con ASTM C 143.

El plastificante considerado a lo largo de este estudio fue CPA DISPER WR que es un aditivo reductor de agua de alto rango. Se utiliza en la elaboración de concretos y morteros con mayor fluidez como concreto lanzado y concreto convencional. Permite producir concretos económicos, reduciendo la cantidad de cemento y manteniendo la misma trabajabilidad y resistencia. Ver ficha técnica del aditivo en Anexo A02.5.

4.2 Dosificación de la mezcla

Esta sección proporciona información acerca de la dosificación de la mezcla del concreto. El diseño de mezcla fue para una relación de agua/cemento (a/c) de 0.50, asentamiento de 6", y una resistencia a la compresión de 280 kg/cm² a los 7 días. La Tabla 4.3 muestra la dosificación del concreto patrón (CP).

Tabla 4.3 Dosificación del concreto patrón

Material	Masa (kg/m ³)	P.e.(gr/cm ³)	Proporción
Cemento (Andino HS)	391	3.15	1
Agua	211	1.00	0.54
Agregado fino	852	2.60	2.23
Agregado grueso	815	2.60	2.10
Aditivo (MasterRheobuild 1202)	391	1.08	0.01
Total	2,273		

La Tabla 4.4 resume el ajuste realizado a las muestras de ensayo según la investigación.

Tabla 4.4 Resumen del ajuste a las muestras de ensayo

	Agua	a/c	Tamaño máximo agregado	Agregado fino y grueso	Dosis de fibras
Muestras de ensayo	constante (211 kg/m ³)	constante (0.50)	constante (HUSO 57)	constante (852 y 815 kg/m ³)	variable (kg/ m ³)

4.3 Nomenclatura de la muestra

Esta sección proporciona el formato de denominación de las muestras de ensayo para incluir detalles sobre las fibras y dosificaciones de la mezcla de concreto. La Figura 4.3 y la Tabla 4.5 proporcionan detalles de nombres utilizados para etiquetar muestras de laboratorio y para referencia en este informe. El primer conjunto de caracteres se refiere a la sigla de la fibra, esta se asignó considerando los diferentes materiales de fibras. El segundo conjunto de caracteres se refiere a la cantidad (kg) por volumen (m³) de fibras utilizadas, y el tercer conjunto de caracteres identifica un valor numérico, representado por “X” en la Figura 4.3, y denota el número de muestra.

Figura 4.3 Nomenclatura de las muestras de ensayo

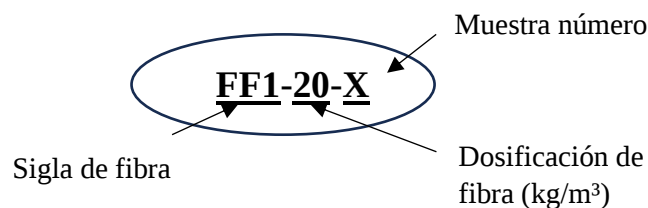


Tabla 4.5 Resumen del nombre y descripción de las muestras

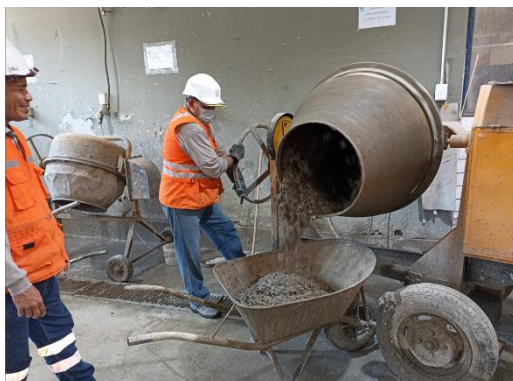
Tipo	Nombre comercial	Sigla de fibra	Dosificaciones (Df)	Volumen de fibra (Vf)	Nomenclatura
Concreto patrón	-	-	0 kg/m ³	0.00%	CP-X
Fibra de acero	Wirand FF1	FF1	20 kg/m ³	0.26%	FF1-20-X
			25 kg/m ³	0.32%	FF1-25-X
			30 kg/m ³	0.38%	FF1-30-X
Fibra de acero	Wirand FF4	FF4	20 kg/m ³	0.26%	FF4-20-X
			25 kg/m ³	0.32%	FF4-25-X
			30 kg/m ³	0.38%	FF4-30-X

Fibra macrosintética	Synthex	STX	3 kg/m ³	0.33%	STX-3-X
			5 kg/m ³	0.55%	STX-5-X
			7 kg/m ³	0.77%	STX-7-X
Fibra macrosintética	Fibermesh 650s	FMS	3 kg/m ³	0.33%	FMS-3-X
			5 kg/m ³	0.55%	FMS-5-X
			7 kg/m ³	0.77%	FMS-7-X

4.4 Fabricación de la mezcla

Preparados todos los materiales y las herramientas, se procedió a realizar las mezclas de prueba de 3.2 pies cúbicos en el laboratorio de concreto, utilizando un mezclador de tambor de 4 pies cúbicos de acuerdo con los materiales que se muestran en la Tabla 4.3. El primer paso era humedecer el mezclador de concreto. Luego, se vertían en la misma los áridos junto a la mitad de la cantidad del agua. Tras 5 minutos de mezclado, en el que los áridos y el agua se mezclaban adecuadamente, se procedía a añadir el cemento y el resto del agua. Cuando la mezcla alcanzaba una homogeneidad adecuada se procedía a añadir poco a poco el aditivo reductor de agua. Una vez éste había reaccionado, se adicionaron las fibras correspondientes (si era el caso), se esperaba a que la mezcla se homogeneizase de nuevo. En la Figura 4.4 se ilustra la fabricación de la muestra utilizando el mezclador de concreto y los moldes para las muestras.

Figura 4.4 Mezclador de concreto (a) y moldes (b) para la fabricación de las muestras



(a)



(b)

Todas las muestras eran desmoldadas 24 horas después de ser fundido y posteriormente colocados en tanques de curado con temperatura controlada de 25 °C. La Figura 4.5 ilustra la posición de las muestras durante su curado con agua.

Figura 4.5 Colocación de las muestras de concreto en su proceso de curación



4.5 Programa de ensayos de las muestras

Para determinar la idoneidad de cada mezcla, el programa de ensayos implicó la evaluación de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. Los procedimientos de prueba para el concreto en estado fresco se realizaron de acuerdo con las normas aplicables y especificaciones como se indica en la Tabla 4.6 y para el concreto en estado endurecido como se indica en la Tabla 4.7. En la Tabla 4.8 se detalla el tiempo de ensayo de las muestras de concreto.

Tabla 4.6 Ensayos al concreto en estado fresco

Ensayos	Normativa	Sin fibras (und)	Con fibras macrosintéticas (und)	Con fibras de acero (und)	Total de ensayos (und)
Trabajabilidad y consistencia	ASTM C 143	3	18	18	39
Peso volumétrico del concreto	ASTM C 138	3	18	18	39

Tabla 4.7 Ensayos al concreto en estado endurecido

Ensayos	Normativa	Sin fibras (und)	Con fibras macrosintéticas (und)	Con fibras de acero (und)	Total de ensayos (und)
Compresión diametral	NTP 339.084	3	18	18	39
Resistencia a compresión	ASTM C 39	9	54	54	117
Módulo de elasticidad	ASTM C 469	3	18	18	39
Resistencia última y tenacidad	EN 14651	5	30	30	65

Tabla 4.8 Edad de los ensayos de las muestras de concreto en estado endurecido

Ensayos	Edad de ensayos (días)	
	7	28
Compresión diametral	x	
Resistencia a compresión	x	x
Módulo de elasticidad	x	
Resistencia última y tenacidad	x	

4.5.1 Ensayos al concreto en estado fresco

4.5.1.1 Ensayo de trabajabilidad y consistencia

Una vez finalizado el proceso de mezclado, en todas las muestras se procedió inmediatamente a la realización del ensayo de consistencia del concreto fresco por el método del cono de Abrams, según la norma ASTM C 143. En la Figura 4.6 se muestra el ensayo.

Figura 4.6 Realización del ensayo de trabajabilidad y consistencia por cono de Abrams



4.5.1.2 Ensayo de peso volumétrico del concreto

Este método de ensayo se realizó para determinar de la densidad del concreto recién mezclado, según la norma ASTM C 138. Se calculó la relación entre masa y volumen del concreto para ser comparado con el peso unitario de diseño. En la Figura 4.7 se muestra el ensayo de peso volumétrico.

Figura 4.7 Realización del ensayo de peso volumétrico de la muestra de concreto



4.5.2 Ensayos al concreto en estado endurecido

4.5.2.1 Ensayo de Compresión diametral

El ensayo de compresión diametral se realizó con probetas cilíndricas de diámetro 150mm y 300 mm de altura, de acuerdo con la norma NTP 339.084. Este ensayo consistió en aplicar la fuerza de compresión a lo largo de una muestra cilíndrica de concreto hasta que este falle por la longitud de su diámetro. Esta carga induce esfuerzos de tensión en el plano donde se aplica y esfuerzos a la compresión en el área donde la carga es aplicada. En la Figura 4.8 se muestra el ensayo de compresión diametral.

Figura 4.8 Realización del ensayo a compresión diametral a la muestra de concreto



4.5.2.2 Ensayo de Resistencia a compresión

El ensayo de resistencia a compresión se realizó con probetas cilíndricas de diámetro 150mm y 300 mm de altura, de acuerdo con la norma ASTM C 39. La resistencia a la compresión se midió rupturando probetas cilíndricas de concreto con una máquina de ensayos de compresión uniaxial de 113Tn. En la Figura 4.9 se muestra el ensayo de resistencia a compresión.

Figura 4.9 Realización del ensayo a compresión a la muestra de concreto



4.5.2.3 Ensayo de Módulo de elasticidad

El ensayo se realizó con cilindros estándar de 150mm de diámetro y 300mm de altura (ver Figura 4.10). Para comparar el módulo de elasticidad de los concretos reforzados con fibras se fabricaron 3 probetas cilíndricas. Los ensayos se realizaron siguiendo la norma ASTM C 469; para determinar el módulo elástico se llevó a cabo 3 precargas hasta un nivel de 40% de la carga de rotura de los cilindros ensayados en la prueba de compresión. Para finalizar, en la última carga se lleva la prueba a la falla.

Figura 4.10 Realización del ensayo de módulo de elasticidad a la muestra de concreto



4.5.2.4 Ensayo de Resistencia última y tenacidad

Los ensayos de resistencia a flexotracción con probetas prismáticas se realizó de acuerdo con la norma UNE-EN 14651:2007+A1 2008, prescrito por TR34. Este ensayo se lleva a cabo con probetas de dimensiones 150mm x 150mm x 550mm. A estas probetas se les realizó previamente una entalla en su centro de 25mm de profundidad para asegurar la situación de la fisura. Asimismo, se realizó en todas las probetas dos orificios, los cuales se encuentran a 8 cm a cada lado de la entalla central. En estos orificios se colocan las piezas de sujeción de un captador de desplazamiento que sirve para controlar la anchura de la fisura durante el ensayo. Tras esto, se marcó los puntos de apoyo de la probeta y se colocó en la máquina del ensayo de acuerdo con las especificaciones marcadas por la normativa (ver Figura 4.11).

Figura 4.11 Realización del ensayo de flexotracción (a) y fisura producida (b)



(a)

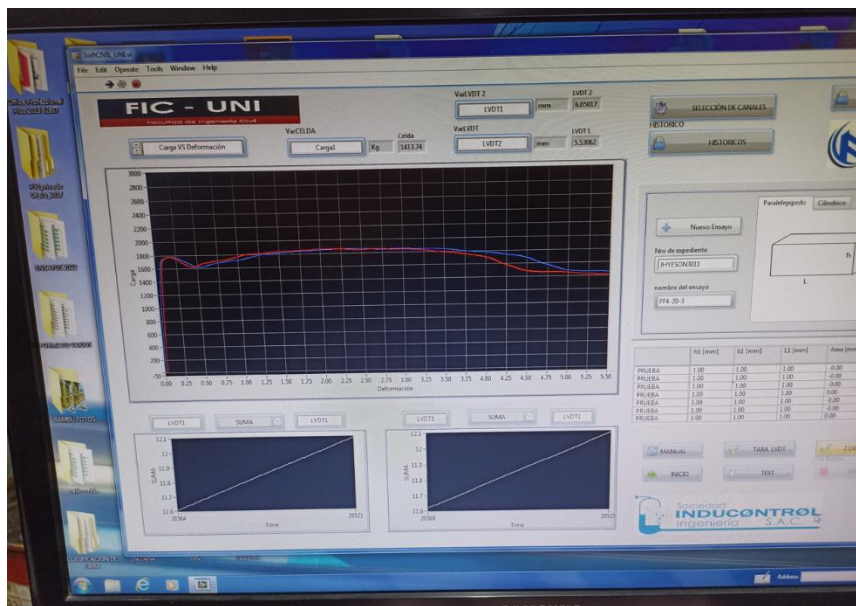


(b)

Tras conectar el equipo y el captador se procede a la realización del ensayo. El primer paso es aplicar una precarga manual hasta alcanzar una carga entre 0.5 y 1 kN. Esto se hace para evitar un tiempo de ensayo excesivo. Luego se programa una velocidad de carga constante de 0.05 mm/min hasta que la fisura alcanza una apertura de 0.5 mm, lo cual suele coincidir con el momento de aparición de la primera fisura, dependiendo de la cantidad de fibras que

contenga la probeta y, sobre todo, su distribución. Después se cambia la velocidad de carga a 0.2 mm/min hasta alcanzar una apertura de fisura de 4 mm, momento en que culmina el ensayo. En la Figura 4.12 se visualiza el programa utilizado para determinar la curva de carga y deformación de las muestras ensayadas.

Figura 4.12 Programa utilizado para determinar la curva de carga y deformación



Tras la realización del ensayo se obtuvo los datos de carga máxima resistida, datos de resistencia residual por flexión y la gráfica de apertura de fisura (CMOD), de acuerdo con la normativa descrita.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se interpreta los resultados de los ensayos descritos en el programa de ensayos de las muestras. Los resultados a analizar serán los realizados al concreto en estado fresco y endurecido. En este estudio se han realizado varios tipos de ensayos. En cuanto a ensayos del concreto en estado fresco se ha realizado la prueba de consistencia de cono de Abrams y peso volumétrico del concreto. Los ensayos realizados al concreto en estado endurecido han sido, el ensayo de compresión diametral, el ensayo de resistencia a compresión, el ensayo de Módulo de elasticidad y, por último, el ensayo de resistencia última y tenacidad.

En todos los tipos de ensayos primero se expondrán los resultados obtenidos, ya sea en gráficos o en tablas, y posteriormente se realizará una explicación, analizando el efecto que provocó la adición de los diferentes tipos de fibras en la matriz del concreto de cada mezcla.

Por último, se realizará un análisis de costos para la fabricación de losas industriales reforzados con acero tradicional y comparando los resultados con la fabricación de losas reforzadas con fibras de acero y macrofibras sintéticas.

5.1 Ensayos al concreto en estado fresco

5.1.1 Ensayo de trabajabilidad y consistencia

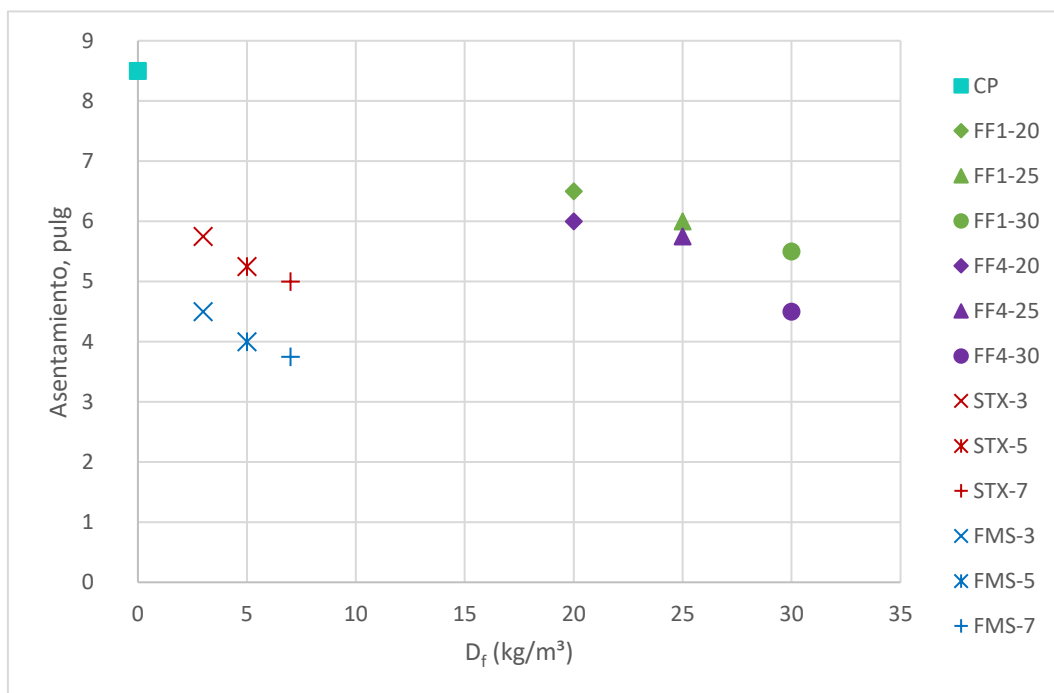
Para las 13 mezclas fabricadas se determinó la trabajabilidad del concreto. La Tabla 5.1 muestra los resultados de asentamientos obtenidos en todas las mezclas realizadas durante este estudio. Ver en el Anexo 03.1, donde se muestran los resultados obtenidos de los especímenes ensayados.

Tabla 5.1 Resumen del asentamiento de cada mezcla

Tipo de fibra	Mezcla	Asentamiento		Disminución asentamiento
		cm	(")	%
Sin Fibra	CP	21.6	8 ½	-
Fibra de acero	FF1-20	16.5	6 ½	-24%
	FF1-25	15.2	6	-29%
	FF1-30	14.6	5 ½	-35%
	FF4-20	12.7	6	-29%
	FF4-25	14.6	5 ¾	-32%
	FF4-30	11.4	4 ½	-47%
Macrofibra sintética	STX-3	8.9	5 ¾	-32%
	STX-5	10.2	5 ¼	-38%
	STX-7	8.9	5	-41%
	FMS-3	11.4	4 ½	-47%
	FMS-5	10.2	4	-53%
	FMS-7	9.5	3 ¾	-56%

El asentamiento obtenido para el concreto sin fibra es de 8.5"; una vez agregadas las fibras a la mezcla, se obtienen mezclas que son inversamente proporcional al asentamiento de la mezcla patrón. Dicha situación puede observarse gráficamente en la Figura 5.1.

Figura 5.1 Influencia de la dosificación de la fibra en el asentamiento del concreto



En la Figura 5.1 se puede apreciar una comparativa realizada entre el asentamiento de la mezcla patrón y mezclas con adición de fibras de acero y macrofibras sintéticas, el porcentaje de disminución del asentamiento muestra la afectación que alcanza la trabajabilidad de las mezclas estudiadas. Para las mezclas con fibras de acero, la mezcla FF4-30 y FF1-30 obtuvieron una pérdida de plasticidad del 47% y 35% con respecto a la mezcla patrón. Para las mezclas con fibras macrosintéticas, la mezcla FMS-7 y STX-7 obtuvieron una pérdida de plasticidad del 56% y 41% con respecto a la mezcla patrón. Para las mezclas en general, las fibras macrosintéticas obtuvieron mayor asentamiento que las fibras de acero. Por tanto, y según los resultados obtenidos, se infiere que la cantidad de filamentos de fibras por kilo, independientemente de su tipo, afecta la pérdida de plasticidad de la mezcla del concreto según sea su dosificación.

5.1.2 Ensayo de peso volumétrico del concreto

En cuanto al peso volumétrico en la Tabla 5.2 y Figura 5.2 se observa una variación y una distinta tendencia del concreto patrón cuando se incorpora cada tipo de fibras. El peso volumétrico para la mezcla patrón es de 2,407.1 kg/m³, para las mezclas con fibras de acero FF1-20, FF1-25, FF1-30, FF4-20, FF4-25 y FF4-30 se obtuvo un incremento de peso volumétrico del 0.12%, 0.23%, 0.29%, 0.29%, 0.41% y 0.47%, respecto al concreto sin fibra. Para las mezclas reforzados con macrofibras sintéticas STX-3, STX-5, STX-7, FMS-3, FMS-3 y FMS-7 disminuyó su peso volumétrico en 1.88%, 1.47%, 1.23%, 2.29%, 2.41% y 2.46%, respecto al concreto sin fibra.

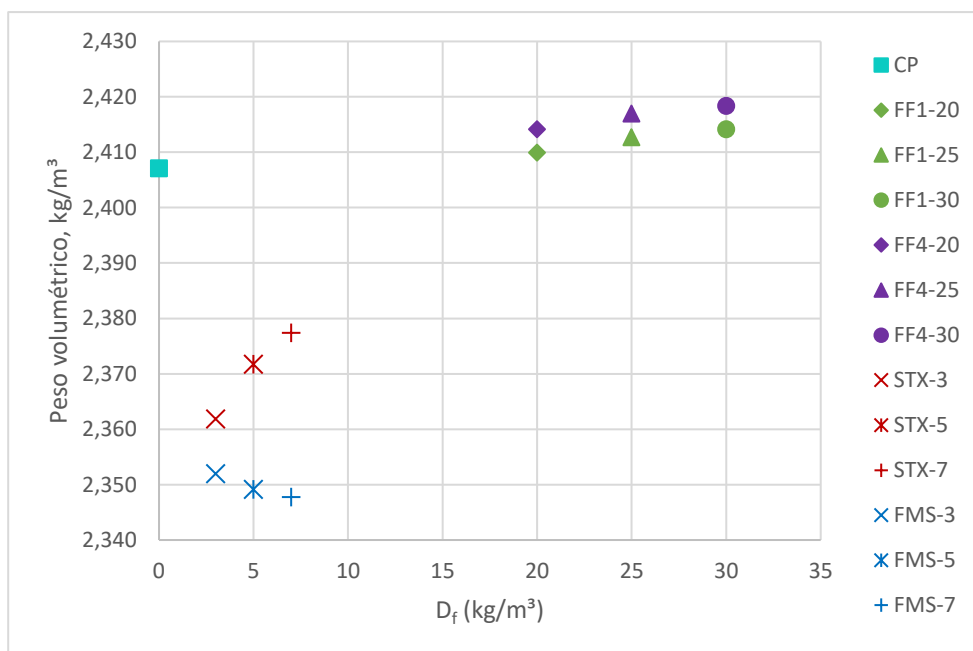
Comparando la tendencia del peso volumétrico de las mezclas de concreto reforzado con fibras de acero y con macrofibras sintéticas con respecto al concreto patrón, se observa que en las mezclas con fibras de acero, el peso volumétrico aumenta proporcionalmente al consumo de fibra, mientras que los reforzados con macrofibras sintéticas disminuye el peso

volumétrico con respecto al concreto patrón. Ver en el Anexo 03.2 los resultados obtenidos de los especímenes ensayados.

Tabla 5.2 Resumen de los resultados del peso volumétrico de las mezclas

Tipo de fibra	Mezcla	Peso volumétrico	Variación del peso
		kg/m ³	%
Sin Fibra	CP	2,407.1	-
Fibra de acero	FF1-20	2,409.9	0.12%
	FF1-25	2,412.7	0.23%
	FF1-30	2,414.1	0.29%
	FF4-20	2,414.1	0.29%
	FF4-25	2,416.9	0.41%
	FF4-30	2,418.4	0.47%
Macrofibra sintética	STX-3	2,361.8	-1.88%
	STX-5	2,371.7	-1.47%
	STX-7	2,377.4	-1.23%
	FMS-3	2,352.0	-2.29%
	FMS-5	2,349.1	-2.41%
	FMS-7	2,347.7	-2.46%

Figura 5.2 Influencia de la dosificación de la fibra en el peso volumétrico



5.2 Ensayos al concreto en estado endurecido

5.2.1 Ensayo de Compresión diametral

La resistencia a tensión se determinó mediante el ensayo a tensión por compresión diametral. En la Tabla 5.3 se presenta los resultados obtenidos. Ver en el Anexo A04.1 el detalle de los resultados obtenidos de los especímenes ensayados.

Tabla 5.3 Resultados de la resistencia a tensión de las mezclas

Tipo de fibra	Mezcla	Volumen de fibra	Resistencia a tensión	Variación de la tensión
		%	kg/cm ²	%
Sin Fibra	CP	0.00	16.5	-
Fibra de acero	FF1-20	0.26	26.2	58.4%
	FF1-25	0.32	26.9	62.7%
	FF1-30	0.38	27.3	65.2%
	FF4-20	0.26	24.1	45.7%
	FF4-25	0.32	25.6	54.7%
	FF4-30	0.38	29.4	77.7%
Macrofibra sintética	STX-3	0.33	23.8	44.1%
	STX-5	0.55	26.0	57.0%
	STX-7	0.77	29.1	75.8%
	FMS-3	0.33	24.2	46.1%
	FMS-5	0.55	24.5	48.3%
	FMS-7	0.77	25.4	53.7%

El incremento en la resistencia a tensión resulta proporcional a la cantidad de fibra utilizadas y depende de la adherencia que se pueda lograr entre la fibra y el amasado de concreto.

En la Tabla 5.3 se realizó un análisis comparativo del desempeño de la mezcla del concreto patrón con las mezclas de diferentes dosificaciones de fibras. Para las mezclas con fibras de acero, la mezcla FF4-30 y FF1-30 obtuvieron un aumento de resistencia a tensión del 77.7% y 65.2% con respecto a la mezcla patrón. Para las mezclas con fibras macrosintéticas, la

mezcla FMS-7 y STX-7 obtuvieron un aumento de resistencia a tensión del 53.7% y 75.8% con respecto a la mezcla patrón.

En la Figura 5.3 y 5.4, se puede observar que conforme se aumentó la dosificación de las fibras, la resistencia a tensión incrementó proporcionalmente a la adición de fibra.

Figura 5.3 Influencia de la dosificación de la fibra en la resistencia a tensión

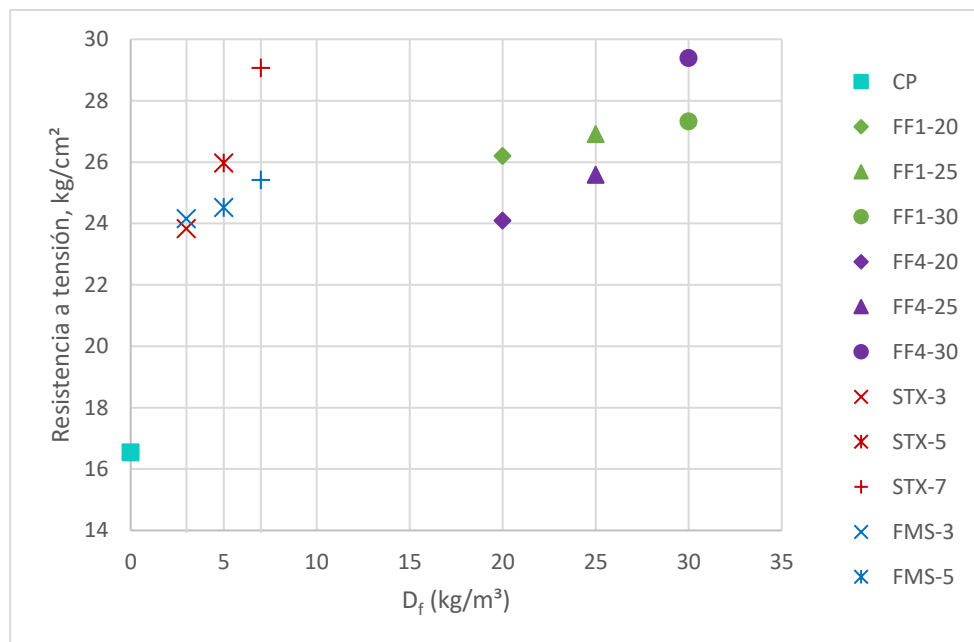
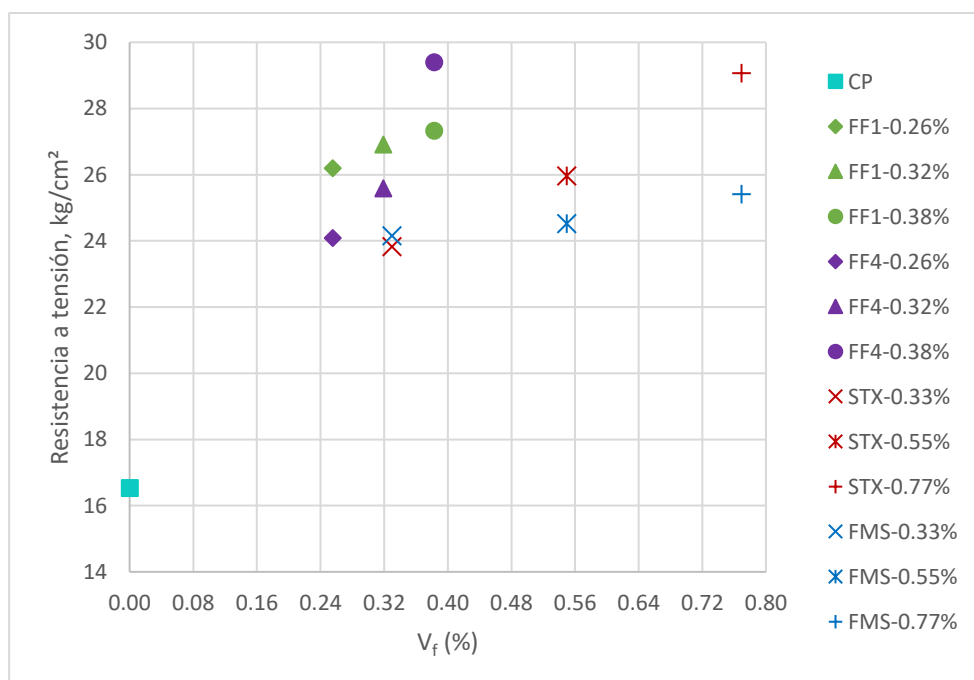


Figura 5.4 Influencia del volumen de la fibra en la resistencia a tensión



5.2.2 Ensayo de Resistencia a compresión

Los resultados referentes a esta prueba se muestran en la Tabla 5.4 y graficados en la Figura 5.5; los resultados son el promedio de 6 ensayos realizados a cada mezcla. En el Anexo A04.2, se muestra el detalle de resultados de los especímenes ensayados para cada una de las mezclas.

La inclusión de las fibras de acero en todas las mezclas de concreto tuvo un efecto despreciable en la resistencia a la compresión a 28 días. La mezcla FF4-25 y FF1-25 obtuvieron una disminución de resistencia a compresión a 7 días del 8.6% y 7.2% con respecto a la mezcla patrón. Para las mezclas con fibras macrosintéticas, la mezcla FMS-7 y STX-7 obtuvieron una disminución de resistencia a compresión a 7 días del 11.6% y 1.9% con respecto a la mezcla patrón.

Tabla 5.4 Resultados de la resistencia a compresión de las mezclas

Tipo de fibra	Mezcla	Volumen de fibra	Resistencia a compresión (7 días)	Variación a compresión (7 días)	Resistencia a compresión (28 días)	Variación a compresión (28 días)
		%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%
Sin Fibra	CP	0.00	323.3	-	438.6	-
Fibra de acero	FF1-20	0.26	307.5	-4.9%	442.0	0.8%
	FF1-25	0.32	301.2	-6.9%	457.7	4.4%
	FF1-30	0.38	300.0	-7.2%	457.8	4.4%
	FF4-20	0.26	293.9	-9.1%	416.7	-5.0%
	FF4-25	0.32	295.5	-8.6%	424.4	-3.2%
	FF4-30	0.38	286.5	-11.4%	427.6	-2.5%
Macrofibra sintética	STX-3	0.33	280.7	-13.2%	410.3	-6.5%
	STX-5	0.55	317.7	-1.7%	423.6	-3.4%
	STX-7	0.77	317.3	-1.9%	407.2	-7.2%
	FMS-3	0.33	283.2	-12.4%	429.4	-2.1%
	FMS-5	0.55	279.0	-13.7%	425.0	-3.1%
	FMS-7	0.77	285.7	-11.6%	386.6	-11.8%

En la Figura 5.5 y 5.6 para especímenes ensayados a los 7 días, se puede observar que conforme se aumentó la dosificación de las fibras de acero la resistencia compresión no tuvo mayor mejora. En cambio, para una mayor dosificación de fibra macrosintética en la mezcla, los resultados de la resistencia a la compresión se notaron desmejorados.

Figura 5.5 Influencia de la fibra a la resistencia a compresión a 7 días

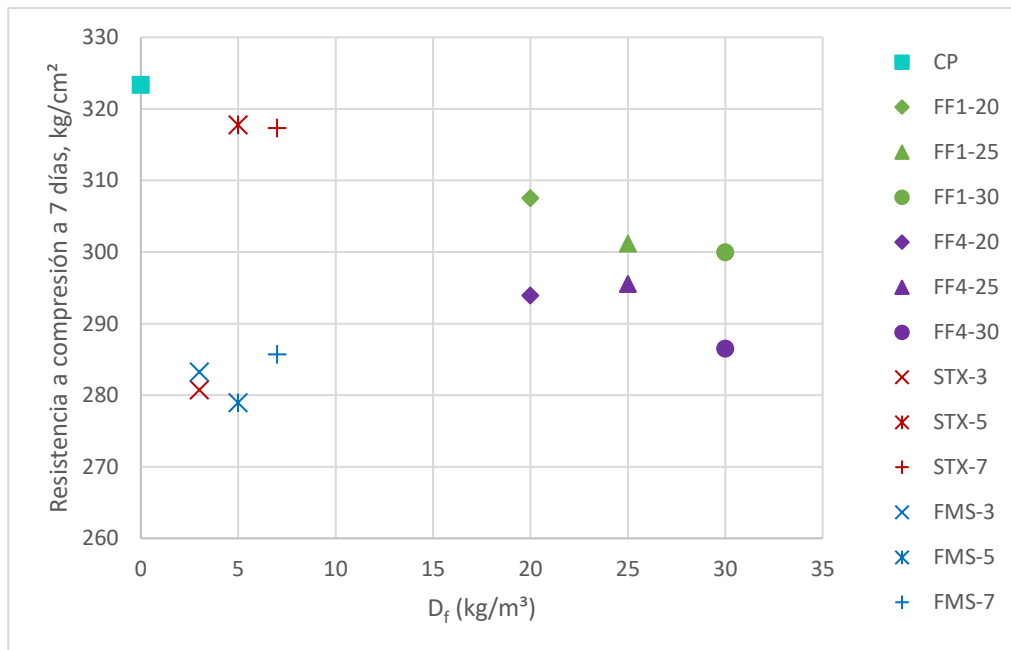
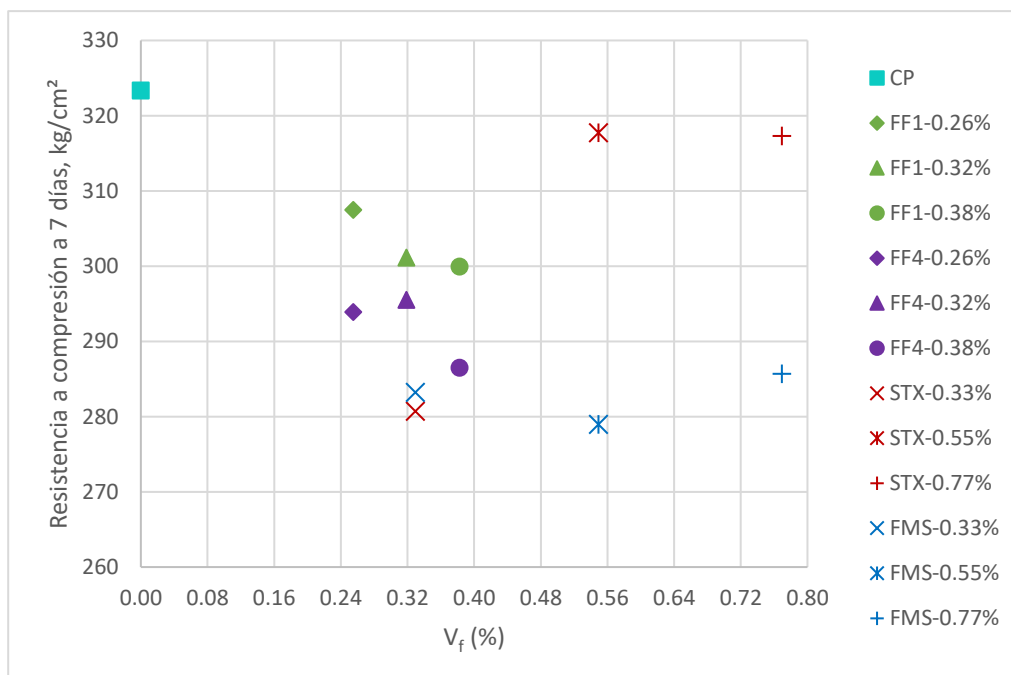


Figura 5.6 Influencia del volumen de la fibra a la resistencia a compresión a 7 días



En la Figura 5.7 y 5.8 para especímenes ensayados a los 28 días. La mezcla FF4-25 y FF1-25 obtuvieron una mínima variación de resistencia del -3.2% y +4.4% con respecto a la mezcla patrón. Para las mezclas con fibras macrosintéticas, la mezcla FMS-7 y STX-7 obtuvieron una disminución de resistencia del 11.8% y 7.2% con respecto a la mezcla patrón.

Figura 5.7 Influencia de la fibra a la resistencia a compresión a 28 días

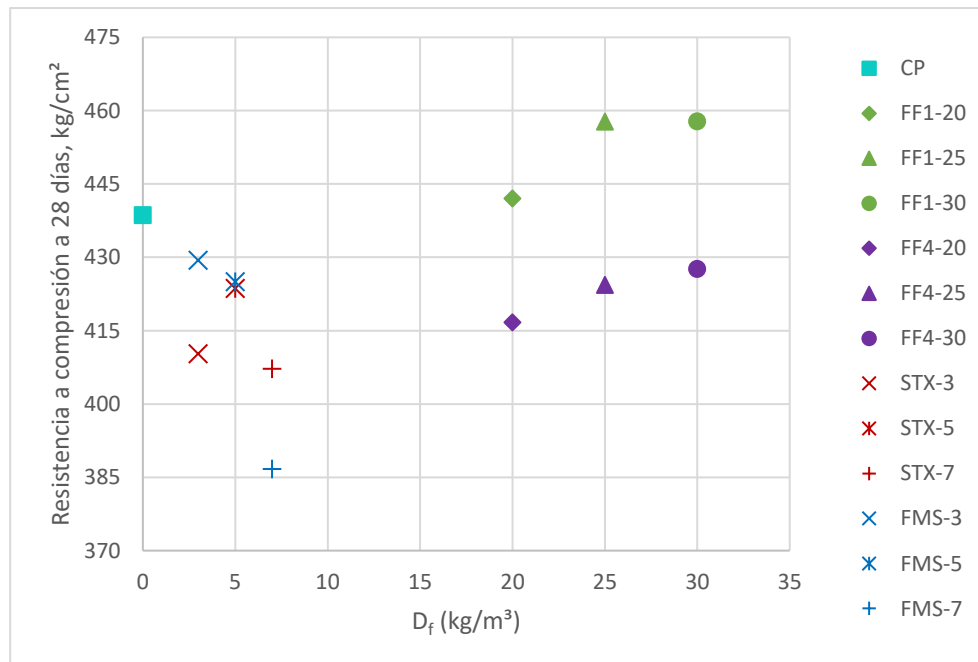
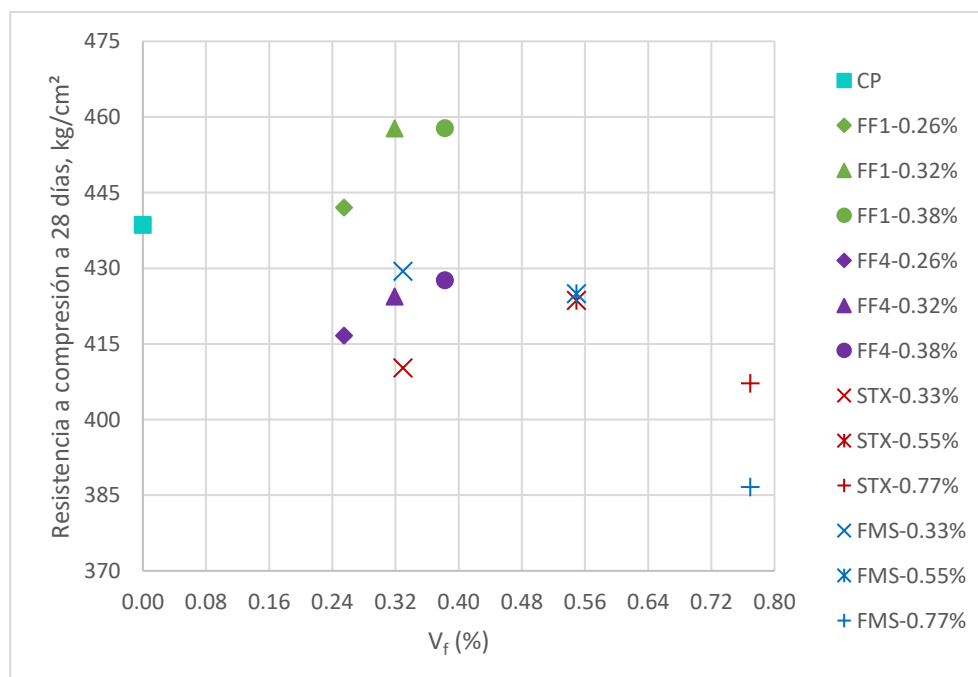


Figura 5.8 Influencia del volumen de la fibra a la resistencia a compresión a 28 días



5.2.3 Ensayo de Módulo de elasticidad

Los resultados referentes a esta prueba se muestran en la Tabla 5.5, los resultados son el promedio de 3 ensayos realizados a cada mezcla. En el Anexo A04.3, se muestra el detalle de los resultados de los especímenes ensayados para cada una de las mezclas.

Tabla 5.5 Resultados del módulo de elasticidad de las mezclas

Tipo de fibra	Mezcla	Volumen de fibra	Módulo de elasticidad	Variación del Módulo de elasticidad
		%	kg/cm ²	%
Sin Fibra	CP	0.00	315,430.8	-
Fibra de acero	FF1-20	0.26	335,220.5	6.3%
	FF1-25	0.32	349,787.1	10.9%
	FF1-30	0.38	355,418.5	12.7%
	FF4-20	0.26	284,478.8	-9.8%
	FF4-25	0.32	321,800.8	2.0%
	FF4-30	0.38	299,061.1	-5.2%
Macrofibra sintética	STX-3	0.33	303,197.9	-3.9%
	STX-5	0.55	305,023.5	-3.3%
	STX-7	0.77	302,219.7	-4.2%
	FMS-3	0.33	300,129.2	-4.9%
	FMS-5	0.55	334,358.2	6.0%
	FMS-7	0.77	305,991.3	-3.0%

El concreto patrón obtuvo un módulo de elasticidad de 315,430kg/cm². La mezcla FF4-25 y FF1-25 obtuvieron un aumento del módulo de elasticidad en 2.0% y 10.9% con respecto a la mezcla patrón. Para las mezclas con fibras macrosintéticas, la mezcla FMS-7 y STX-7 obtuvieron una disminución en 3.0% y 4.2% con respecto a la mezcla patrón.

La adición de las fibras de acero al concreto hace que cambie el tipo de falla, de frágil a dúctil, presentando deformaciones últimas mayores con respecto al concreto patrón. Comparando los resultados para ambos tipos de fibras, resulta que las fibras de acero tienen una mejor respuesta y desempeño con respecto a la mezcla patrón.

Figura 5.9 Influencia de la dosificación de la fibra al módulo de elasticidad

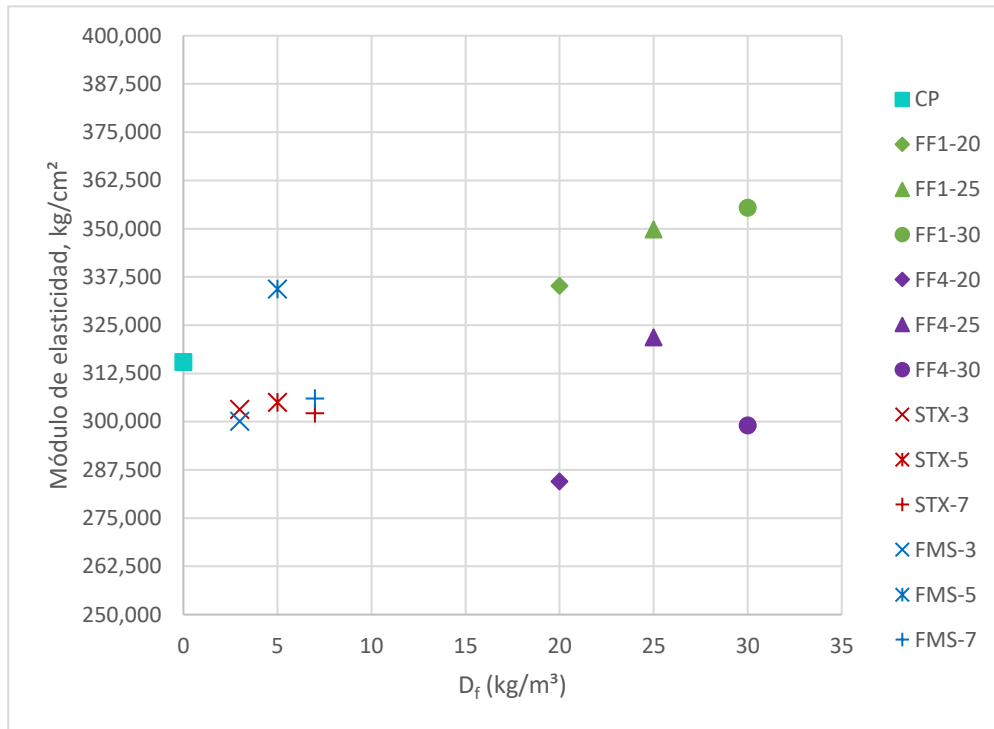
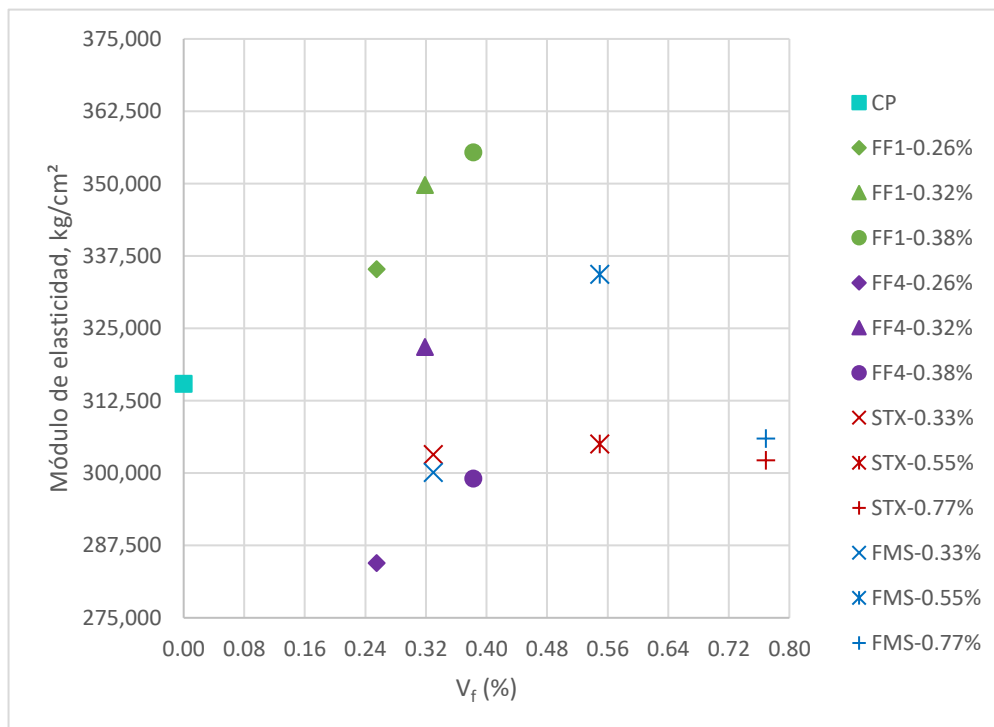


Figura 5.10 Influencia del volumen de la fibra al módulo de elasticidad



5.2.4 Ensayo de Resistencia última y tenacidad

La normativa EN 14651 proporciona procedimientos para determinar la resistencia residual de una viga entallada en varias etapas de desplazamiento. Este ensayo está controlado por el desplazamiento de apertura de la boca de la grieta (CMOD) de la muesca. Los datos de carga y deflexión se recopilaron externamente utilizando SoftCIVIL_UNI, programa preparado en la Universidad Nacional de Ingeniería. En el Anexo A04.4, se muestra el detalle de los resultados de los especímenes ensayados para cada una de las mezclas.

En la Tabla 5.6 y 5.7 se puede observar los resultados de resistencia a flexotracción y de tenacidad de las muestras de estudio.

Tabla 5.6 Resultados del ensayo a flexotracción de las mezclas

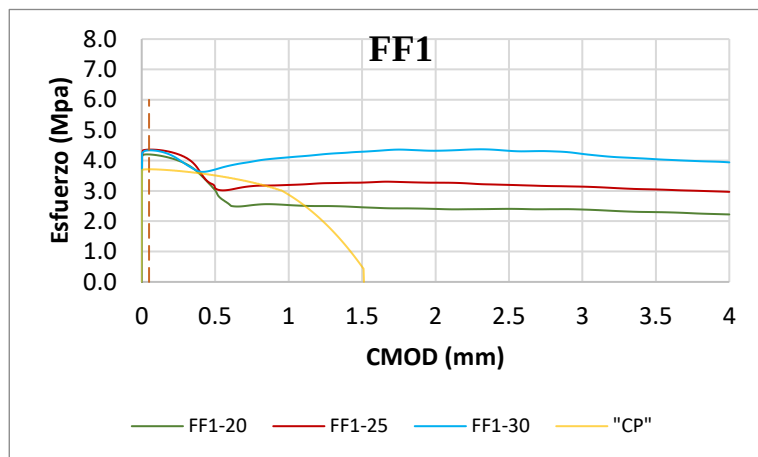
Mezcla	Carga, kN		Resistencia, MPa		
	Primer pico	Máxima	Primer pico	Máxima	Deflexión: δ_{3mm}
	F_L	F_M	$f_{ct,L}$	$f_{ctm,L}$	$f_{ct3,L}$
CP	12.88	12.88	3.71	3.71	-
FF1-20	14.58	14.59	4.20	4.20	2.30
FF1-25	15.13	15.14	4.36	4.36	3.05
FF1-30	15.05	15.17	4.33	4.37	4.05
FF4-20	15.80	15.86	4.55	4.57	4.25
FF4-25	16.91	18.35	4.87	5.29	5.15
FF4-30	17.64	22.82	5.08	6.57	6.53
STX-3	13.07	13.08	3.76	3.77	2.11
STX-5	15.12	15.12	4.35	4.35	3.47
STX-7	17.20	17.20	4.95	4.95	4.34
FMS-3	14.99	14.99	4.32	4.32	2.28
FMS-5	15.13	15.17	4.36	4.37	3.42
FMS-7	15.99	17.33	4.61	4.99	4.93

Tabla 5.7 Resultados de tenacidad de las mezclas

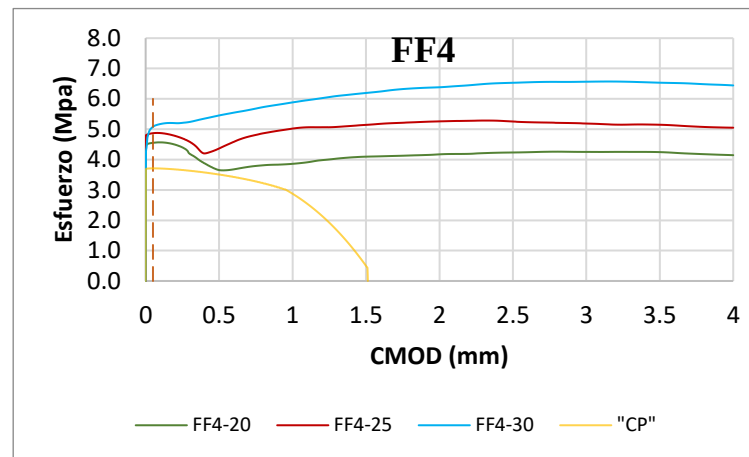
Mezcla	Resistencia residual, Mpa				Tenacidad J	Variación de la tenacidad
	f_{R1}	f_{R2}	f_{R3}	f_{R4}	T_3	%
CP	3.51	0.48	-	-	13.16	-
FF1-20	3.02	2.31	2.25	2.15	26.19	99%
FF1-25	3.09	3.27	3.20	3.05	34.32	161%
FF1-30	3.70	4.29	4.32	4.04	43.25	229%
FF4-20	3.66	4.10	4.23	4.24	42.67	224%
FF4-25	4.37	5.14	5.25	5.15	52.21	297%
FF4-30	5.45	6.20	6.53	6.53	63.20	380%
STX-3	3.30	2.10	2.16	2.11	24.66	87%
STX-5	3.39	3.52	3.60	3.46	37.26	183%
STX-7	4.02	4.62	4.67	4.33	46.49	253%
FMS-3	3.59	2.23	2.30	2.28	26.46	101%
FMS-5	2.99	3.47	3.53	3.42	36.12	175%
FMS-7	4.15	4.71	4.90	4.93	48.51	269%

En la Figura 5.11 muestra el esfuerzo residual vs. los incrementos de CMOD de 0.5, 1.5, 2.5 y 3.5 mm. Además, se observa que los especímenes que contenían fibras de acero mostraron un comportamiento de endurecimiento (ver Figura 5.11a y 5.12b) seguido de una pérdida gradual de rigidez. La mezcla FF4-30 obtuvo el mayor endurecimiento por flexión de los especímenes ensayados, obteniendo 63.2 Joules y un aumento del 380% de tenacidad con respecto a la mezcla patrón (ver Figura 5.12). Las fibras macrosintéticas mostraron una rápida pérdida de rigidez inmediatamente después del agrietamiento (ver Figura 5.11c y 5.11d). La mezcla STX-3 obtuvo el mayor ablandamiento por flexión de los especímenes ensayados, obteniendo 24.66 Joules y un aumento del 87% de tenacidad con respecto a la mezcla patrón. Para evaluar el comportamiento en servicio, la flexión post-fisuración se evaluó la resistencia entre la primera fisura f_{R1} y CMOD de 0.5 mm. La resistencia residual varió respecto al tipo y al volumen de fibra utilizada. En general, fibras más rígidas y mayores volúmenes de éste, resultará en una mayor resistencia residual del concreto.

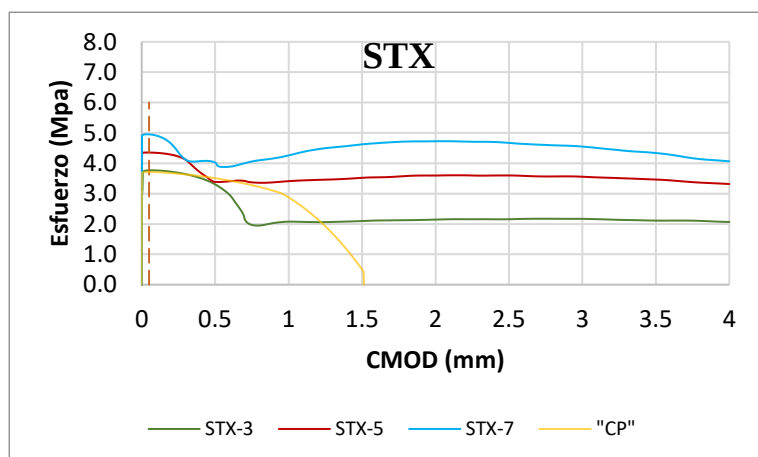
Figura 5.11 Esfuerzo vs. CMOD: (a) FF1, (b) FF4, (c) STX y (d) FMS



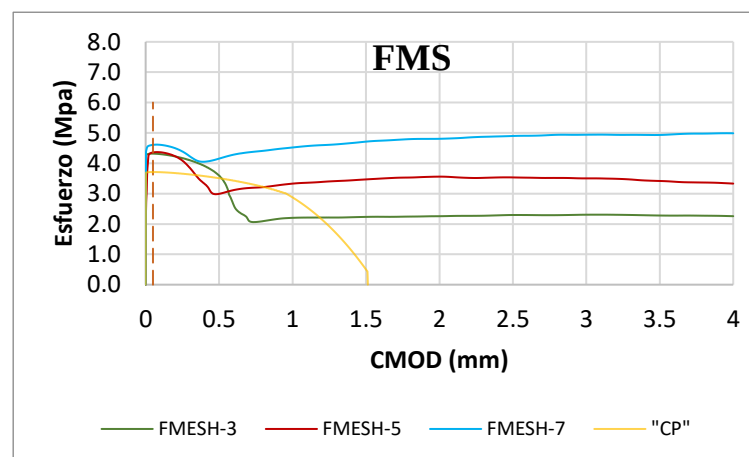
(a)



(b)

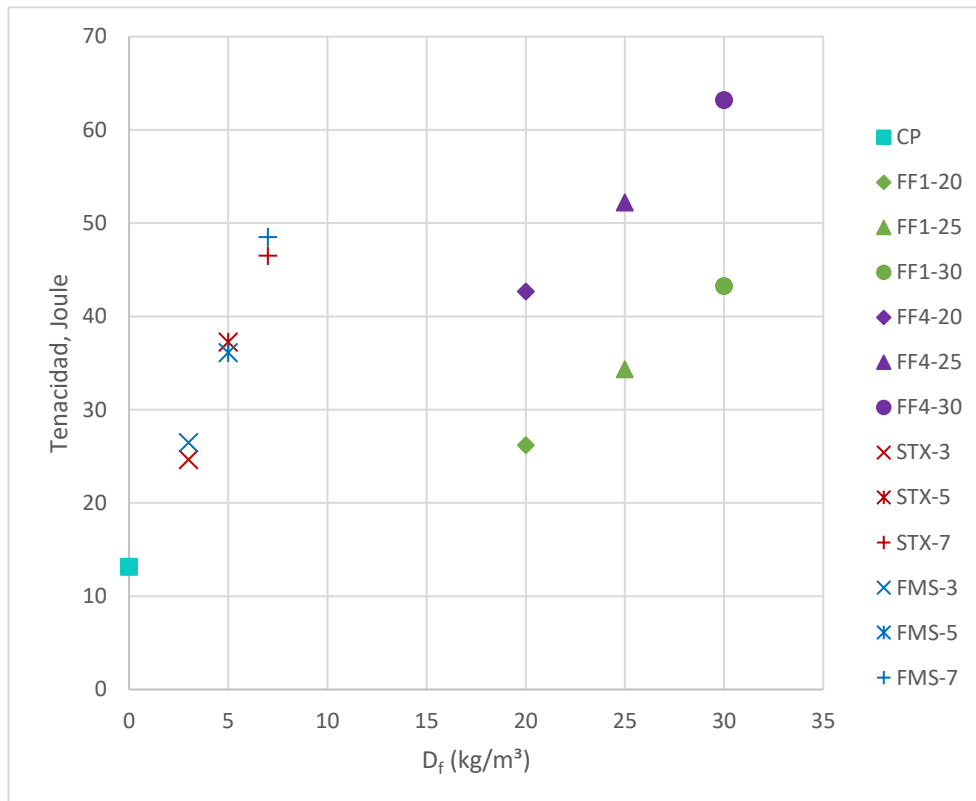


(c)



(d)

Figura 5.12 Influencia del volumen de la fibra a la tenacidad de las mezclas



La síntesis de los resultados obtenidos es que el concreto con mayor dosificación y unidades de fibras por kilo, se han desempeñado mejor en situaciones de recuperación de carga tras rotura no inmediata. En cambio, si lo que buscamos es una conservación de resistencia tras rotura más inmediata, o una menor abertura de fisura inicial, los concretos con fibras de acero, y más específicamente la mezcla FF4, ha ofrecido mejores resultados. No obstante, hay que tener en cuenta que se han empleado volúmenes de macrofibras sintéticas mayores que las de fibras de acero. Por tanto, las ventajas de las fibras macrosintéticas son relativas, ya que para igualar el desempeño de las fibras de acero se tienen que adicionar al concreto en dosificaciones mayores. Este hecho tiene sus desventajas, ya que incrementa los costos de fabricación y disminuye considerablemente la trabajabilidad de la mezcla de concreto.

5.3 Evaluación de costos para la fabricación de losas industriales

Es importante indicar que para lograr el objetivo de evaluar los costos de ejecución de la losa industrial reforzada con acero tradicional y de la losa industrial reforzada con fibras de acero y macrofibras sintéticas, es necesario diseñarlo utilizando los resultados obtenidos de resistencia última y tenacidad (ver Anexo A04.4) de las muestras de estudio. Para revisar el diseño estructural de las losas industriales ver el Anexo 05. Además, se realizaron los presupuestos generales para las mezclas del concreto patrón y las mezclas optimizadas con adición de fibras estructurales (ver Anexo 07), utilizando planos de detalle de una losa industrial de 2,700 m² (ver Anexos 06). Adicionalmente, se obtuvieron los costos unitarios del mercado debidamente soportados por la Cámara Peruana de Construcción (CAPECO).

En la tabla 5.8 se resume el análisis de costos de fabricación (a costo directo, no incluye gastos generales ni utilidades) de las losas industriales para cada tipo de mezcla.

Tabla 5.8 Resumen comparativo del presupuesto de losas para cada tipo de mezcla

Tipo de losa	Área de losa	Peralte de losa	Costo de fabricación	Variación del costo
	(m ²)	(m)	(\$)	%
Losa CP	2,700.00	0.37	339,039.80	-
Losa FF1-30	2,700.00	0.30	243,296.48	-28.2%
Losa FF4-20	2,700.00	0.30	227,211.09	-33.0%
Losa STX-7	2,700.00	0.30	227,438.64	-32.9%
Losa FMS-7	2,700.00	0.30	229,276.77	-32.4%

En el estudio se obtuvo que la losa reforzada con 20 kg/m³ de fibras de acero FF4 fue la que generó una mayor optimización en costo para la construcción de una losa industrial, obteniendo un 33.0% de rentabilidad con respecto a la losa reforzada con acero tradicional.

Como puede observarse en la tabla 5.9, el costo aproximado de un metro cuadrado de losa con acero tradicional es de \$ 125.57 dólares americanos y el costo aproximado de un metro cuadrado de losa de concreto reforzado con 20 kg/m³ de fibras de acero FF1 es de \$ 84.15 dólares americanos. Se demuestra que la elección de construir una losa industrial reforzada con fibras de acero o macrofibras sintéticas supone un ahorro del \$ 35.46 a \$ 41.42 dólares americanos por metro cuadrado de losa industrial fabricada.

El espesor de la losa con refuerzo de acero tradicional fue de 37cm, pero al utilizar fibras estructurales a la mezcla de concreto se redujo el espesor de la losa en 7cm, obteniendo un espesor de 30cm en todos los casos de las losas reforzados con fibras estructurales.

Tabla 5.9 Costo por m² de losa industrial

Tipo de losa	Costo de fabricación	Variación / Rentabilidad
	(\$/m ²)	(\$/m ²)
Losa CP	125.57	0.00
Losa FF1-30	90.11	-35.46
Losa FF4-20	84.15	-41.42
Losa STX-7	84.24	-41.33
Losa FMS-7	84.92	-40.65

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La finalidad de esta investigación fue determinar la efectividad de las fibras de acero y macrofibras sintéticas teniendo diferentes características y dosificaciones para la adición al concreto en la construcción de losas industriales. Se fabricaron especímenes utilizando una mezcla de concreto patrón (sin fibras) como control y mezclas de dos tipos de fibras de acero, FF1 y FF4, y dos tipos de fibras macrosintéticas, STX y FMS. Estas mezclas contenían en el concreto 20, 25 y 30 kg/m³ de fibras de acero y 3, 5 y 7 kg/m³ de fibras macrosintéticas. En base a los resultados obtenidos se describen las siguientes conclusiones y recomendaciones.

6.1 Conclusiones

- La longitud, diámetro y dosificación de las fibras aportó beneficios a las propiedades mecánicas del concreto hidráulico, debido a que las fibras aumentan sustancialmente la capacidad del concreto para soportar la carga en deflexiones o deformaciones más allá de la aparición de la primera fisura. La resistencia residual y la tenacidad de todos los especímenes reforzados con fibras mostró un aumento desde el 90% (FF1-20) hasta el 380% (FF4-30) con respecto al concreto patrón. De todas las mezclas estudiadas, se verificó que la adición de la fibra de acero FF4 a la mezcla brindó mayores mejoras a las propiedades físicas y mecánicas del concreto en comparación de las otras fibras de estudio.
- Las mezclas con adición de fibra macrosintéticas en dosificaciones superiores a 5 kg/m³ tuvieron problemas con aglomeración de fibras durante los procedimientos de mezcla. La mezcla FMS-7 y STX-7 obtuvieron una pérdida de trabajabilidad del 56% y 41% con respecto a la mezcla patrón. Esto es una desventaja en la trabajabilidad de las mezclas para el correcto vertido y pulido del concreto. En cambio, la adición de fibras de acero en

dosificaciones menores a 20 kg/m^3 , no presentaron mayores problemas de aglomeración que pudiera reducir la trabajabilidad de la mezcla. La mezcla FF4-30 y FF1-30 obtuvieron una pérdida de trabajabilidad del 47% y 35% con respecto a la mezcla patrón

- El peso volumétrico de las mezclas de concreto reforzado con fibras de acero, se observó que aumenta proporcionalmente al consumo de fibra, para las mezclas FF1-20, FF1-25, FF1-30, FF4-20, FF4-25 y FF4-30 se obtuvo un incremento de peso volumétrico del 0.12%, 0.23%, 0.29%, 0.29%, 0.41% y 0.47%, respecto al concreto patrón. Las mezclas reforzadas con macrofibras sintéticas STX-3, STX-5, STX-7, FMS-3, FMS-3 y FMS-7 disminuyó su peso volumétrico en 1.88%, 1.47%, 1.23%, 2.29%, 2.41% y 2.46%, respecto al concreto patrón.
- Se observó que la resistencia a tensión por compresión diametral del concreto se mejora a medida que aumenta la dosificación de fibras de acero y macrofibras sintéticas a la mezcla, ya que a partir de la ruptura del concreto fibroreforzado se inicia la contribución de las fibras. Para las mezclas con fibras de acero, la mezcla FF4-30 y FF1-30 obtuvieron un aumento de resistencia a tensión del 77.7% y 65.2% con respecto a la mezcla patrón. Para las mezclas con fibras macrosintéticas, la mezcla FMS-7 y STX-7 obtuvieron un aumento de resistencia a tensión del 53.7% y 75.8% con respecto a la mezcla patrón. Finalmente, las fibras proporcionan un efecto de “enganche” en el concreto, lo que genera un incremento en sus capacidades de resistencia y de desplazamiento.
- Para la resistencia a la compresión del concreto a 28 días, la inclusión de las fibras de acero en todas las mezclas de concreto experimentó poca variación. La mezcla FF4-25 y FF1-25 obtuvieron una variación de resistencia del -3.2.% y +4.4% con respecto a la mezcla patrón. Las mezclas con fibras macrosintéticas, la FMS-7 y STX-7 obtuvieron una disminución de resistencia del 11.8% y 7.2% con respecto a la mezcla patrón, esto

debido a las altas concentraciones de filamentos de fibras en el amasado de la mezcla que origina que el concreto sea poco trabajable.

- El módulo de elasticidad del concreto aumenta conforme se incrementa la adición de fibras de acero. La mezcla FF4-25 y FF1-25 obtuvieron un aumento del módulo de elasticidad en 2.0% y 10.9% con respecto a la mezcla patrón. Para las macrofibras los valores del módulo de elasticidad disminuyeron ligeramente, conforme se incrementaron la adición de fibras. La mezcla FMS-7 y STX-7 obtuvieron una disminución en 3.0% y 4.2% con respecto a la mezcla patrón.
- Para la tenacidad del concreto, se observó que aumenta de manera lineal cuando se incrementa la dosificación de fibras; en tal sentido, se demuestra que la dosificación y la relación de aspecto de las fibras incrementan la energía disipada del concreto. La mezcla FF4-30 obtuvo el mayor endurecimiento por flexión de los especímenes ensayados, obteniendo 63.2 Joules y un aumento del 380% de tenacidad con respecto a la mezcla patrón. Las fibras macrosintéticas mostraron una rápida pérdida de rigidez inmediatamente después del agrietamiento. La mezcla STX-3 obtuvo el mayor ablandamiento por flexión de los especímenes ensayados, obteniendo 24.66 Joules y un aumento del 87% de tenacidad con respecto a la mezcla patrón. Los valores más altos de tenacidad son los obtenidos de los concretos reforzados con fibras de acero.
- En la investigación se compararon los costos del concreto reforzado con acero tradicional, con fibras de acero y con macrofibras sintéticas. Para el análisis del costo se simuló la construcción de una losa industrial de 2,700 m². Para la mezcla del CP se obtuvo una losa de espesor de 37cm con una cuantía de acero de $\rho=0.39\%$, para las demás mezclas de fibras se obtuvo un espesor de losa de 30cm. Las mezclas con fibras que obtuvieron mejor



desempeño estructural fueron la FF1-30, FF4-20, STX-7 y FMS-7. Se determinó que el costo aproximado de un metro cuadrado de losa con acero tradicional es de \$ 125.57 dólares americanos y el costo de un metro cuadrado de losa de concreto FF1-30, FF4-20, STX-7 y FMS-7 es de \$ 90.11, \$ 84.15, \$ 84.24 y \$ 84.92. Se demuestra que la elección de construir una losa industrial reforzada con fibras de acero o macrofibras sintéticas supone un ahorro desde el \$ 35.46 al \$ 41.42 por metro cuadrado con respecto a la losa reforzada con acero tradicional.

6.2 Recomendaciones

- Se deben realizar más investigaciones antes de poder llegar a conclusiones exactas. Esta investigación adicional incluye evaluar el enfoque con otras mezclas de CRF con diferentes tipos de fibras y diferentes dosificaciones de fibras.
- Para el análisis de cargas en el diseño estructural del pavimento fibroreforzado, se consideró cargas dinámicas producidas por un cargador de contenedores (Reach Stacker). Para mayor análisis comparativo también considerar cargas producidas por estantería, cargas lineales o cargas distribuidas uniformemente.
- Se recomienda evitar el uso de las fibras de acero en ambientes con alta tendencia a la humedad y salinidad, ya que el acero pudiera corroerse. En caso de usarse, se deberá de garantizar un buen diseño de mezcla y proceso constructivo a fin de evitar esta patología.
- Se recomienda realizar el diseño de la mezcla del concreto según las condiciones de construcción de la losa industrial con el objetivo que la dosificación de fibra no afecte negativamente a la trabajabilidad del concreto fibroreforzado durante el vertido de la mezcla en la obra.
- Este estudio puede ser utilizado para la implementación en un reglamento de diseño, lo que permitirá incrementar el uso del CRF en diferentes campos de la ingeniería estructural, específicamente en la construcción de losas industriales.
- Algunas fibras tienen una superficie lisa, las fibras estructurales comerciales suelen presentar superficies rugosas para garantizar la adherencia. Se recomienda en plantear estudios de arrancamiento de las fibras a fin de determinar la adherencia con el concreto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 544.1R. (2002). State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Shotcrete. *Reported by American Concrete Institute Committee 544*.
- ACI 544.4R. (2018). Guide to design with fiber-reinforced concrete. En *Reported by American Concrete Institute Committee 544*.
- CONCRETE SOCIETY TR.34. (2013). Concrete Industrial Ground Floors: A guide to design and construction. The Concrete Society. En *Technical Report 34* (4^a ed.).
- Dopko Michael (2018). *Fiber reinforced concrete: Tailoring composite properties with discrete fibers*. (Thesis to qualify for the degree of Master of Science). Iowa State University, Iowa, USA.
- EUROPEAN READY MIXED CONCRETE ORGANIZATION (2012). *Guidance for fiber concrete: properties, specifications and practices in Europe*. Association Européenne Du Béton Pret A L'Emploi
- Galloovich, S., Rossi, B.R., Perri, G., y Winterberg, R. (2007). Aplicaciones en hormigón fibroreforzado: Diseño de pavimentos. En *Manual Técnico Maccaferri: Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigón* (pp. 139–140).
- Hermanus Lambertus Bester, by, & Peter Boshoff, W. (2017). *Generic Model for Predicting the Performance of Macro-Synthetic Fibre Reinforced Concrete for Industrial Flooring Applications*. <https://scholar.sun.ac.za>
- López Román, J. (2015). *Análisis de las propiedades del concreto reforzado con fibras cortas de acero y macrofibras de polipropileno: Influencia del tipo y consumo de fibra adicionado* [Tesis para el grado de Maestro en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México]. <https://www.macrofibras.org/images/pdf/BASF-CONCRETO-REFORZADO-CON-MACROFIBRAS-UNAM.pdf>
- Pícolo Salvador, R., Figueiredo, A. D., Renan, S. P., Alan C, E. R., & Antonio, F. D. (2013). *Characterization of self-fibrillating synthetic macrofibers for concrete reinforcement*. <https://www.researchgate.net/publication/269518245>
- Quintana, C. D., y Valencia, P. A. (2016). *Análisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero al 12% y 14%*. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Ramírez, F. X., y Samaniego, J. A. (2016). *Estudio comparativo de los efectos sobre la resistencia a la flexión del hormigón reforzado con fibras (HRF) usando macro fibras de acero Dramix RC-6535-BN y polipropileno Tuf-Strand SF* [Tesis de grado, Universidad Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15636>
- Reyes Gonzales, Í. S. (2016). *Caracterización del comportamiento de hormigones*

- reforzados con fibras de acero tipo 3D, 4D y 5D, usando ensayo ASTM C1609* [Tesis para optar el título de Constructor Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile]. <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/23499>
- Sánchez Agustín, E. (2015). *Losas de fundación de almacenes autoportantes*. Recuperado de. <http://www.revistacyt.com.mx/index.php/tecnologia/411-losas-de-fundacion-de-almacenes-autoportantes>
- Shi Xijun, Park, P., Rew, Y., Huang, K., & Sim, C. (2020). Constitutive behaviors of steel fiber reinforced concrete under uniaxial compression and tension. *Construction and Building Materials*, 233. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117316>
- Sika. (2013). Concreto reforzado con Fibras. En *Construcción: Informaciones técnicas* (Edición 1, pp. 6–9).
- Valero Galarza, J.F. (2015). *Influencia de las fibras de polipropileno en la fisuración asociadas a la retracción plástica en pavimentos de concreto, Huancayo 2014* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCPC/399>
- Wong Tomy (2018). Losas de fundación de fibra reforzada macro sintética. En *BarChip: Guia para el diseño y construcción de losas de fibra reforzada macro sintética apoyadas sobre terreno* (Rev.3, pp. 6–8).



ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

OPTIMIZACIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL, REFORZADO CON FIBRAS MACROSINTÉTICAS Y DE ACERO WIRAND EN LOSAS INDUSTRIALES				
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables y dimensiones	Metodología
<u>Problema general</u> ¿En qué medida un inadecuado diseño de mezcla del concreto hidráulico fibroreforzado de alta resistencia inicial es consecuencia de la desmejora de las propiedades físicas y mecánicas del concreto y costos en su fabricación?	<u>Objetivo general</u> Optimizar las propiedades físicas y mecánicas del concreto fibroreforzado de alta resistencia inicial diseñando la mezcla del concreto hidráulico con una resistencia a compresión de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ a 7 días	<u>Hipótesis general</u> El diseño de mezcla del concreto fibroreforzado de alta resistencia inicial con una resistencia a compresión $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ a 7 días, optimizará sus propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico	<u>Variable independiente</u> Fibras de acero Fibras macrosintéticas DIMENSIONES: Fibras macrosintéticas en cantidades de: 3 kg, 5 kg y 7 kg por m^3 de concreto Fibras de acero en cantidades de: 20 kg, 25 kg y 30 kg por m^3 de concreto	<u>Tipo de investigación:</u> Cuantitativo <u>Nivel de investigación:</u> Aplicada <u>Métodos:</u> Hipotético-deductivo <u>Diseño:</u> Experimental
<u>Problemas específicos</u> ¿De qué manera la inadecuada dosificación del concreto hidráulico para diferentes tipos de muestras de concreto sin fibras, concreto con fibras macrosintéticas y concreto con fibras de acero perjudica las propiedades físicas y mecánicas del concreto?	<u>Objetivos específicos</u> Determinar la dosificación del concreto hidráulico para diferentes tipos de muestras: concreto sin fibras, concreto con fibras macrosintéticas y concreto con fibras de acero para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto.	<u>Hipótesis específicas</u> Al determinar la dosificación del concreto hidráulico para diferentes tipos de muestras: concreto sin fibras, concreto con fibras macrosintéticas y concreto con fibras de acero mejorará las propiedades físicas y mecánicas del concreto.	<u>Variable dependiente</u> Propiedades físicas del concreto Propiedades mecánicas del concreto Costos de fabricación de losas industriales	<u>Población y muestra:</u> Población: Concreto de losas industriales fibroreforzadas Muestra: Especímenes elaborados en laboratorio (cemento tipo HS, agregados, aditivo reductor de agua, agua, fibras macrosintéticas, fibras de acero)

¿De qué manera inadecuada los resultados obtenidos de los ensayos de las muestras al concreto en estado fresco perjudican las propiedades del concreto fibroreforzado? ¿De qué manera inadecuada los resultados obtenidos de los ensayos de las muestras al concreto en estado endurecido perjudican las propiedades del concreto fibroreforzado? ¿De qué manera inadecuada los costos del concreto reforzado con acero tradicional, fibras de acero y macrofibras sintéticas perjudica el diseño y construcción de las losas industriales?	Analizar los resultados obtenidos de los ensayos de las muestras del concreto en estado fresco: (a) Trabajabilidad y Consistencia, y (b) Peso volumétrico del concreto para optimizar el diseño estructural del concreto fibroreforzado. Analizar los resultados obtenidos de los ensayos de las muestras de concreto en estado endurecido: (a) Resistencia a la compresión, (b) Tracción indirecta, (c) Módulo de elasticidad y (d) Resistencia última y tenacidad para optimizar el diseño estructural del concreto fibroreforzado. Evaluar los costos de fabricación del concreto reforzados con acero tradicional, con fibras de acero y macrofibras sintéticas para mejorar el diseño de las losas industriales.	El análisis de los resultados obtenidos de los ensayos de las muestras del concreto en estado fresco: (a) Trabajabilidad y Consistencia, y (b) Peso volumétrico del concreto optimizará el diseño estructural de la losa fibroreforzado. El análisis de los resultados obtenidos de los ensayos de las muestras al concreto en estado endurecido: (a) Resistencia a la compresión, (b) Tracción indirecta, (c) Módulo de elasticidad y (d) Resistencia última y tenacidad optimizará el diseño estructural de la losa fibroreforzado. La evaluación de los costos de fabricación del concreto reforzados con acero tradicional, con fibras de acero y macrofibras sintéticas mejorará el diseño de las losas industriales.	DIMENSIONES: Diseño de mezcla: e) Cemento HS (kg) f) Agregados (kg) g) Aditivo (lt) h) Agua (lt) Propiedades físicas i) Trabajabilidad y Consistencia (pulg) j) Peso volumétrico del concreto (kg/m³) Propiedades mecánicas k) Resistencia a la compresión (kg/cm²) l) Tracción indirecta (kg/cm²) m) Módulo de elasticidad n) Resistencia última y tenacidad (J) Costo de fabricación de losa industrial (\$)	<u>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</u> o) Observación p) Referencias bibliográficas q) Ficha de observación <u>Técnicas e instrumentos de análisis y procesamiento de datos:</u> Edición, revisión y codificaciones de los datos. Se recopilará y registrará los datos para luego ser analizados y que permitan desarrollar opciones de solución al factor estudiado
--	--	---	--	--

Anexo 02: Ensayos de los materiales del concreto patrón

A02.1: Características del agregado fino

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil
LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Centers de Ingeniería Civil Accredited por
ABET | Engineering Technology Accreditation Commission

Pág. 3 de 5

ANEXO 1

EXPEDIENTE N° : 22-1651

1. CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO FINO :

Consiste en una Muestra de ARENA GRUESA procedente de la cantera ARIDS RIBAS SAC.

A) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ		% RET.	% RET. ACUM.	% PASA	% PASA. ASTM C 33 HUSO AGR. FINO
(Pulg)	(mm)				
3/8"	9.50	0.0	0.0	100.0	100
N°4	4.75	7.5	7.5	92.5	95 - 100
N°8	2.36	21.6	29.1	70.9	80 - 100
N°16	1.18	24.5	53.5	46.5	50 - 85
N°30	0.60	14.9	68.4	31.6	25 - 60
N°50	0.30	11.7	80.1	19.9	5 - 30
N°100	0.15	9.3	89.3	10.7	0 - 10
FONDO		10.7	100.0	0.0	

B) CURVA DE GRANULOMETRÍA

C) PROPIEDADES FÍSICAS

Módulo de Fineza	3.28
Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1576
Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1814
Peso Especifico (g/cm³)	2.62
Contenido de Humedad (%)	0.77
Porcentaje de Absorción (%)	0.81

2. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.
Técnico : Sr. G.P.L.

NOTAS:

1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

UNI-LEM
La Calidad es nuestro compromiso
Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
apartado 1301 - Perú
(511) 381-3343
E: 441 484 4878 A: 4878 4859 I: 4848

www.lem.uni.edu.pe
lem@uni.edu.pe
Laboratorio de Ensayo

A02.2: Características del agregado agregado grueso

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil
LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Carerra de Ingeniería Civil Acreditada por
ABET Engineering
Technology
Accreditation
Commission

ANEXO 2

Pág. 4 de 5

EXPEDIENTE N° : 22-1651

1. CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO GRUESO :

Consiste en una Muestra de PIEDRA CHANCADA procedente de la cantera ARIDOS RIBAS SAC.

A) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ		% RET.	% RET. ACUM.	% PASA	% PASA ASTM C 33 HUSO 57
(Pulg)	(mm)				
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	100.0	100
1"	25.00	0.0	0.0	100.0	95 - 100
3/4"	19.00	5.6	5.6	94.4	-
1/2"	12.50	55.7	61.3	38.7	25 - 60
3/8"	9.50	21.8	83.1	16.9	-
N°4	4.75	16.3	99.6	0.5	0 - 10
FONDO		0.5	100.0	0.0	

B) CURVA DE GRANULOMETRÍA

C) PROPIEDADES FÍSICAS

Módulo de Fineza	6.86
Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1376
Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1549
Peso Específico (g/cm³)	2.60
Contenido de Humedad (%)	0.47
Porcentaje de Absorción (%)	1.09

2. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por : Mag. Ing. M. A. Tejada S.
Técnico : Sr. G.P.L.

NOTAS:

1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

UNI-LEM
La Calidad es nuestro compromiso
Laboratorio Certificado ISO 9001

Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
apartado 1301 - Perú
(511) 381-3343

www.lem.uni.edu.pe
lem@uni.edu.pe

LABORATORIO
ISO 9001

A02.3: Características del agregado global

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil
LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Pág. 5 de 5

ANEXO 3

EXPEDIENTE N° : 22-1651

1. CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO GLOBAL :

Consiste en una combinación de ARENA GRUESA procedente de la cantera ARIDS RIBAS SAC y PIEDRA CHANCADA procedente de la cantera ARIDS RIBAS SAC.

A) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ		% RET.	% RET. ACUM.	% PASA
(Pulg)	(mm)			
1"	25.00	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.00	2.8	2.8	97.2
1/2"	12.50	27.8	30.6	69.4
3/8"	9.50	10.9	41.4	58.6
N°4	4.75	11.9	53.3	46.7
N°8	2.36	10.8	64.2	35.8
N°16	1.18	12.3	76.4	23.6
N°30	0.60	7.5	83.9	16.1
N°50	0.30	5.8	89.7	10.3
N°100	0.15	4.6	94.4	5.6
FONDO		5.6	100.0	0.0

B) CURVA DE GRANULOMETRÍA

C) PROPIEDADES FÍSICAS

Tamaño Nominal Máximo	1/2"
Módulo de Fineza	5.06
% Agregado Grueso	49.85
% Agregado Fino	50.15

2. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante.

Hecho por: Mag. Ing. M. A. Tejada S.
Técnico: Sr. G. P. L.

NOTAS

1) Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del laboratorio.
2) Los resultados de los ensayos solo corresponden a las muestras proporcionadas por el solicitante.

UNI-LEM
La Calidad es nuestro compromiso
Laboratorio Certificado ISO 9001

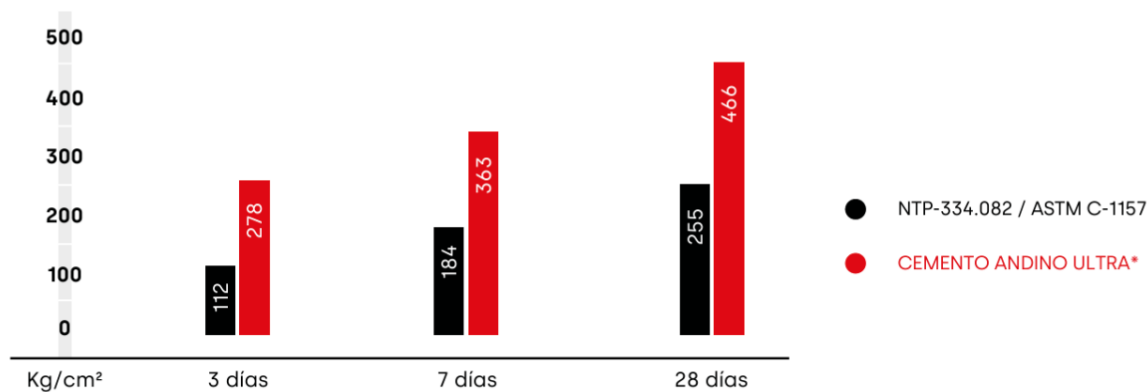
Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
apartado 1301 - Perú
(511) 381-3343

www.lem.uni.edu.pe
lem@uni.edu.pe
Laboratorio de Ensayo

A02.4: Ficha técnica del cemento

REQUISITOS MECÁNICOS:

COMPARACIÓN RESISTENCIAS NTP-334.082 / ASTM C-1157 VS. CEMENTO ANDINO ULTRA



* Valores referenciales

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

PARÁMETRO	UNIDAD	CEMENTO ANDINO ULTRA	REQUISITOS NTP-334.082/ ASTM C-1157
Contenido de aire	%	3	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.02	Máximo 0.80
Superficie específica	m²/kg	500	No especifica
Densidad	g/cm³	2.98	No especifica
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm²	278	Mínimo 112
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm²	363	Mínimo 184
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm²	466	Mínimo 255
TIEMPO DE FRAGUADO			
Fraguado Vicat inicial	min	146	45 a 420
BARRAS CURADAS EN AGUA			
Expansión a 14 días	%	0.009	Máximo 0.020
POTENCIAL ÁLCALI-REACTIVO			
Expansión a 14 días	%	0.013	Máximo 0.020
Expansión a 56 días	%	0.032	Máximo 0.060
CALOR DE HIDRATACIÓN			
Calor de hidratación a 7 días	kJ/kg	256	Máximo 335
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
Resistencia al ataque de sulfatos a 180 días	%	< 0.05	0.05 % máx. a 180 días
Resistencia al ataque de sulfatos a 360 días	%	< 0.07	0.10 % máx. a 360 días

A02.5: Ficha técnica del aditivo reductor de agua



HOJA TÉCNICA
EDICIÓN Nº 2: JULIO 2020
CPA ADITIVOS GROUP S.A.C.

CPA DISPER WR

ADITIVO SUPER-PLASTIFICANTE, REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO

DESCRIPCION

- Dispersante, súper plastificante, reductor de agua y retenedor de trabajabilidad para concreto, economizador de cemento.
- Se utiliza en la elaboración de concretos y morteros con mayor fluidez como concreto lanzado, concreto convencional y mortero.
- No contiene cloruros.

ESPECIFICACIONES

Cumple con la especificación ASTM C-494 tipo G. Aditivos químicos para el concreto. Reductor de agua.

CPA DISPER WR	PROPIEDADES FISICAS	METODO ASTM
PRODUCTO ENVASADO		
A1. Tipo	G (reductor de agua)	C-494
A2. Consistencia	Líquida	
A3. Densidad (Kg/Lts)	1.08	D-1475
A4. Inflamabilidad	No	E-70
A5. Estabilidad		
Envase abierto (hrs)	5 a 6	
Envase cerrado (meses)	12	
A6. Color	Marrón	
A7. Sólidos Totales (peso)	33.54	Gravimetría
A8. Viscosidad (Cp) Spin 130 RPM	180	Método Brookfield
A9. pH	8.64	APHA 4500 H+
PRODUCTO APLICADO		
B1. Dosificación (% peso cemento)	0.5 - 2	Ensayo in situ.

VENTAJAS

- Es un reductor de agua de alto rango por lo que no es necesario utilizar fluidificantes adicionales.
- Permite la producción de concretos y morteros de alto desempeño.
- Brinda concretos y morteros de mayor estabilidad y tiempo de trabajabilidad.
- Permite formular concretos con el mismo revenimiento disminuyendo la cantidad de agua entre un 25 y 30 %, por lo tanto aumentando la resistencia de diseño a más de un 40%.
- Permite producir concretos económicos, reduciendo la cantidad de cemento y manteniendo la misma trabajabilidad y resistencia.
- Retiene la trabajabilidad por más tiempo manteniendo las resistencias iniciales.

USOS

- Como súper plastificante: Adicionado a una mezcla con consistencia normal se consigue dispersar el concreto o mortero, facilitando su colocación, haciéndolo apto para el bombeo.
- Como reductor de agua: Adicionado en el agua de amasado, permite reducir hasta el 30% de agua de la mezcla consiguiéndose la misma trabajabilidad con incremento notable en las resistencias mecánicas a todas las edades.
- Como economizador de cemento: se puede aprovechar el incremento de resistencias logrado al reducir agua con el aditivo, para disminuir el contenido de cemento y hacer más económico el diseño.

A02.6: Ficha técnica de las fibras de acero

Wirand® FF1

Fibra de acero para refuerzo de concreto

Descripción	Filamentos de alambre de acero trellado, cortados y doblados en determinadas longitudes dependiendo el uso al que será sometido, para el refuerzo de concreto.
Usos	Para refuerzo de concreto principalmente en pisos y pavimentos, obteniendo un elevado número de fibras por kg distribuyéndose uniformemente y logrando un comportamiento mecánico homogéneo.
Ventajas	■ La fibra tiene dobleces en los extremos que permite mejorar adherencia de la fibra dentro de la matriz del concreto. ■ Alta resistencia a tracción. ■ Alta absorción de energía por medio del alambre trellado de bajo contenido de carbono. ■ Cumple con la Norma ASTM A 820, Tipo 1. ■ Elimina el habilitado y colocación de malla y varillas convencionales por la sustitución de estos materiales con fibras de acero. ■ Aumenta resistencia a fatiga, cortante e impacto en estructuras de concreto.
Datos Técnicos	Tipo: Alambre de acero trellado Largo: 50 mm con doblez en terminaciones +/-15% Diámetro: 1.00 mm +/-10% Relación de Aspecto L/D: >50 +/-15% Rm Tensión de ruptura por tracción del alambre: >1,100 MPa Rp0.2 Tensión de alejamiento de la proporcionalidad: > 800 Mpa DI Elongación a la ruptura: <4% E Módulo de Elasticidad: 210,000 MPa
Presentación	Caja de 20 Kg.

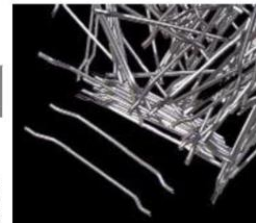


Wirand®

Fibras para Refuerzo de Hormigón

Características técnicas

Las fibras para refuerzo de hormigón Wirand® son producidas a partir de acero de bajo tenor de carbono, trellado a frío. Las fibras de acero Wirand® cuando sumadas al hormigón, actúan como una armadura tridimensional que redistribuye las tensiones aplicadas en su elemento estructural aumentando la resistencia.



Propiedades Físicas		FF4
Relación L/d (largo / diámetro)	-	80
Tolerancia del valor individual de la relación L/d	%	15
Tolerancia del valor medio de la relación L/d	%	7.5
Diámetro	mm	0.75
Tolerancia del valor individual del diámetro	%	10
Tolerancia del valor medio del diámetro	%	5
Largo	mm	60
Tolerancia del valor individual del largo	%	5
Tolerancia del valor medio del largo	%	5

Propiedades Mecánicas		FF4
Resistencia a tracción del acero	MPa	>1200
Deformación en la ruptura	%	<4
Módulo elástico	MPa	210000

Aplicación		FF4
Campos de aplicación indicados		pavimentos y pre-fabricados
Número de fibras por Kilogramo		4806

A02.7: Ficha técnica de las fibras macrosintéticas

SyntheX®

65



SyntheX es la marca de fibras macro sintéticas para hormigón. Convierte el hormigón en un material compuesto reforzado, aumentando la resistencia a la flexión y el rendimiento de absorción de energía. Se mejoran el impacto y la resistencia a la corrosión.

VENTAJAS DE LA FIBRA SINTÉTICA EN EL CONCRETO

- * Muy alta tenacidad a la flexión;
- * Reduce la posibilidad de desprendimiento de los bordes de hormigón;
- * No se requiere la colocación de la malla de acero, reduciendo el trabajo necesario para colocarlo y manejarlo;
- * Mejora la mezcla reduciendo el potencial de segregación del concreto;
- * Reduce el agrietamiento consecuente de los asentamientos;
- * Elimina el riesgo potencial de corrosión de la malla de acero y control de grietas;
- * Costo efectivo contra malla de acero
- * Ecológico, más seguro y mas leve que el acero

DONDE USAR

Puede ser utilizado en pavimentos de concreto, pisos(industriales, comerciales y domesticos), pisos refrigerados, secciones muy delgadas con grandes relaciones de superficie a espesor. Refuerzo de Túneles y Minería.

NORMAS MÍNIMAS DEL HORMIGÓN

Grado de Concreto: C20/25 min
Tipo de cemento: Cualquier combinación incluyendo escoria y extendedores de cenizas volantes
Tamaño agregado: Cualquier tamaño agregado, siempre y cuando el tamaño nominal no sea superior al 25% de la sección más delgada

PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS

Estado Físico 20° C : Solido

DIRECTRICES PARA EL USO DE FIBRA DE HORMIGÓN

Se añade al tambor mezclador de hormigón durante el proceso de dosificación de toda la materia prima. Dependiendo del diseño, predeterminado de la mezcla de hormigón, se utiliza dosages desde 2 a 10 kg por m3 de hormigón.

RECOMENDACIONES IMPORTANTES

Las reglas regulares para una buena práctica y aplicación deben ser estrictamente observadas con procedimientos de curado adecuados como lo requieren las mezclas de hormigón.

Materia Prima : Polyolefina

Olor : Sin olor **Apariencia :** Monofilamento individual

Intervalo de fusión : De 160 a 170 ° C **Superficie :** Continuamente en relieve

Punto de Inflamabilidad: (ASTM D 1929) = 350 ° C **Largo :** 65 mm

Temperatura Automat.de Iniginción ([°] C) > 400 **Resistencia a la tracción:** 560 MPa Min 644 MPa Max

Gravidad Specifica (g/cm3): 0,91 **Cantidad de Fibras por kg :** 62.500

Sika® Fibermesh-650 S

Macro-Synthetic Fibers

PRODUCT DESCRIPTION

Sika® Fibermesh-650 S is an engineered graded macro-synthetic fiber featuring e3 patented technology, manufactured to an optimum gradation and oriented to allow greater surface area contact within the concrete, resulting in increased interfacial bonding and flexural toughness. Sika® Fibermesh-650 S is specifically engineered and manufactured in an ISO9001 certified facility for use as concrete reinforcement. Sika® Fibermesh-650 S was formerly called Fibermesh 650S and SikaFiber Force 650S.

e3 Technology

A well graded aggregate will enhance concrete, Sika® Fibermesh-650 S with e3 technology is a blend of graded fibers designed to enhance the distribution and performance of fiber reinforcement.

USES

- Sprayed Concrete
- External roads / Pavements
- Airport pavements
- Precast
- Slope stabilisation

CHARACTERISTICS / ADVANTAGES

- Graded macro-synthetic fiber for concrete reinforcement
- Greater surface area provides increased flexural toughness (residual strength) equivalent to steel.
- Increases concrete durability
- Inhibits plastic shrinkage and settlement cracking
- Pumpable reinforcement with reduced wear on pumps and hoses
- Simplified logistics
- Economical alternative system to steel mesh and/or steel fibers
- Rustproof
- Alkali proof
- Always positioned in compliance with codes
- Safer and easier to use than traditional reinforcement
- Reducing embodied carbon through the replacement of convention steel reinforcement with synthetic structural fibers.

APPROVALS / STANDARDS

- Complies with European Standard EN 14889-2:2006 Fibres for Concrete Parts 2 and carries CE marking
- ISO 9001 Quality Assured
- Complies with ASTM C1116 / C1116M Type III and ASTM D7508 / D7508M

Shelf Life	5 years from date of production if stored properly in undamaged, unopened, original sealed packaging.
Storage Conditions	Store materials in a cool dry place. Do not store in direct sunlight.
Dimensions	Fiber Length: Graded
Melting Point	162°C (324°F)
Ignition Temperature	593°C (1100°F)

TECHNICAL INFORMATION

Tensile Strength	89 ksi (613 MPa)
Resistance to Alkalinity	Alkali Proof

APPLICATION INFORMATION

Recommended Dosage	The application rate for Sika® Fibermesh-650 S macro-synthetic fibers will vary depending on the application, mix design and toughness requirements of each particular project. Typically dosage will fall in the range of 5 to 15 pounds per cubic yard (3.0 to 8.0 kg per cubic metre). For specific performance and dosage recommendations, contact your local Sika representative.
Compatibility	Sika® Fibermesh-650 S fibers are compatible with all concrete admixtures and performance enhancing chemicals.
Mixing	Sika® Fibermesh-650 S in a dispersible bag can be added directly to the concrete mixing system after the batching of the ingredients and mixed for 4 to 5 minutes or 70 revolutions. The addition of Sika® Fibermesh-650 S at the recommended dosage rates may decrease the slump; however, additional water should not be added. Only a water reducing or high range water reducing admixture should be used to adjust concrete to the desired workability.

Anexo 03: Resultados de los ensayos al concreto en estado fresco

A03.1: Trabajabilidad y consistencia (ASTM C 143)

Tipo de fibra	Mezcla	D_f , (kg/m ³)	Relación de aspecto (l_f/d_f)	V_f (%)	Asentamiento, pulg	Asentamiento, cm
Sin Fibra	CP	0	0	0.00	8 1/2	21.6
Fibra de acero	FF1-20	20	50	0.26	6 1/2	16.5
	FF1-25	25	50	0.32	6	15.2
	FF1-30	30	50	0.38	5 1/2	14.0
	FF4-20	20	80	0.26	6	15.2
	FF4-25	25	80	0.32	5 3/4	14.6
	FF4-30	30	80	0.38	4 1/2	11.4
Macro fibra sintética de polipropileno	STX-3	3	59	0.33	5 3/4	14.6
	STX-5	5	59	0.55	5 1/4	13.3
	STX-7	7	59	0.77	5	12.7
	FMS-3	3	44	0.33	4 1/2	11.4
	FMS-5	5	44	0.55	4	10.2
	FMS-7	7	44	0.77	3 3/4	9.5

A03.2: Peso volumétrico del concreto (ASTM C 138)

Tipo de fibra	Mezcla	D_f , (kg/m ³)	Relación de aspecto (l_f/d_f)	V_f (%)	Peso del molde, kg	Peso volumetrico, (kg/m ³)
Sin Fibra	CP	0	0	0.00	19.54	2407.1
Fibra de acero	FF1-20	20	50	0.26	19.56	2409.9
	FF1-25	25	50	0.32	19.58	2412.7
	FF1-30	30	50	0.38	19.59	2414.1
	FF4-20	20	80	0.26	19.59	2414.1
	FF4-25	25	80	0.32	19.61	2416.9
	FF4-30	30	80	0.38	19.62	2418.4
Macro fibra sintética de polipropileno	STX-3	3	59	0.33	19.22	2361.8
	STX-5	5	59	0.55	19.29	2371.7
	STX-7	7	59	0.77	19.33	2377.4
	FMS-3	3	44	0.33	19.15	2352.0
	FMS-5	5	44	0.55	19.13	2349.1
	FMS-7	7	44	0.77	19.12	2347.7

Anexo 04: Resultados de los ensayos al concreto en estado endurecido

A04.1: Compresión diametral (NTP 339.084)

Mezcla	Identificación de muestra	Fecha de obtención	Fecha de ensayo	Diámetro cm	Altura cm	Volumen cm ³	Carga Máxima kg	Resistencia a tensión, kg/cm ²	Resistencia a tensión promedio, kg/cm ²
CP	CP-1	14/12/2022	21/12/2022	15.20	30.05	5,452.82	11,800	16.45	16.54
	CP-2	14/12/2022	21/12/2022	15.15	30.10	5,426.02	13,200	18.43	
	CP-3	14/12/2022	21/12/2022	15.20	30.10	5,461.90	10,600	14.75	
FF1-20	FA.1-FF1-20-1	05/12/2022	12/12/2022	15.20	30.10	5,461.90	19,000	26.44	26.20
	FA.1-FF1-20-2	05/12/2022	12/12/2022	15.22	30.10	5,476.28	20,400	28.35	
	FA.1-FF1-20-3	05/12/2022	12/12/2022	15.28	30.10	5,515.93	17,200	23.82	
FF1-25	FA.2-FF1-25-1	05/12/2022	12/12/2022	15.10	30.10	5,390.27	20,000	28.01	26.91
	FA.2-FF1-25-2	05/12/2022	12/12/2022	15.15	30.20	5,444.05	18,220	25.35	
	FA.2-FF1-25-3	05/12/2022	12/12/2022	15.25	30.20	5,516.16	19,800	27.37	
FF1-30	FA.3-FF1-30-1	05/12/2022	12/12/2022	15.13	30.00	5,390.16	19,000	26.66	27.33
	FA.3-FF1-30-2	05/12/2022	12/12/2022	15.13	30.00	5,390.16	19,700	27.64	
	FA.3-FF1-30-3	05/12/2022	12/12/2022	15.13	30.10	5,408.13	19,800	27.69	
FF4-20	FA.4-FF4-20-1	12/12/2022	19/12/2022	15.27	30.10	5,512.32	17,600	24.38	24.09
	FA.4-FF4-20-2	12/12/2022	19/12/2022	15.30	30.10	5,534.00	17,400	24.05	
	FA.4-FF4-20-3	12/12/2022	19/12/2022	15.20	30.20	5,480.04	17,200	23.85	
FF4-25	FA.5-FF4-25-1	12/12/2022	19/12/2022	15.25	30.20	5,516.16	20,000	27.65	25.59
	FA.5-FF4-25-2	12/12/2022	19/12/2022	15.18	30.10	5,447.53	17,800	24.80	
	FA.5-FF4-25-3	12/12/2022	19/12/2022	15.30	30.10	5,534.00	17,600	24.33	
FF1-30	FA.6-FF4-30-1	12/12/2022	19/12/2022	15.30	30.10	5,534.00	21,000	29.03	29.40
	FA.6-FF4-30-2	12/12/2022	19/12/2022	15.30	30.20	5,552.39	21,600	29.76	
	FA.6-FF4-30-3	12/12/2022	19/12/2022	15.25	30.10	5,497.89	21,200	29.40	
STX-3	FS.1-STX-3-1	06/12/2022	13/12/2022	15.30	30.00	5,515.62	17,600	24.41	23.83
	FS.1-STX-3-2	06/12/2022	13/12/2022	15.16	30.10	5,433.19	18,800	26.23	
	FS.1-STX-3-3	06/12/2022	13/12/2022	15.26	30.00	5,486.81	15,000	20.86	



STX-5	FS.2-STX-5-1	06/12/2022	13/12/2022	15.32	30.00	5,530.05	18,000	24.93	25.97
	FS.2-STX-5-2	06/12/2022	13/12/2022	15.20	30.20	5,480.04	20,200	28.01	
	FS.2-STX-5-3	06/12/2022	13/12/2022	15.30	30.00	5,515.62	18,000	24.97	
STX-7	FS.3-STX-7-1	06/12/2022	13/12/2022	15.14	30.00	5,400.86	20,800	29.15	29.07
	FS.3-STX-7-2	06/12/2022	13/12/2022	15.20	30.10	5,461.90	21,200	29.50	
	FS.3-STX-7-3	06/12/2022	13/12/2022	15.20	30.20	5,480.04	20,600	28.57	
FMS-3	FS.4-FMS-3-1	13/12/2022	20/12/2022	15.50	30.10	5,679.63	17,200	23.47	24.16
	FS.4-FMS-3-2	13/12/2022	20/12/2022	15.30	30.10	5,534.00	18,800	25.99	
	FS.4-FMS-3-3	13/12/2022	20/12/2022	15.30	30.00	5,515.62	16,600	23.02	
FMS-5	FS.5-FMS-3-1	13/12/2022	20/12/2022	15.25	30.10	5,497.89	17,800	24.69	24.53
	FS.5-FMS-3-2	13/12/2022	20/12/2022	15.25	30.10	5,497.89	17,400	24.13	
	FS.5-FMS-3-3	13/12/2022	20/12/2022	15.25	30.00	5,479.62	17,800	24.77	
FMS-7	FS.6-FMS-3-1	13/12/2022	20/12/2022	15.20	30.10	5,461.90	17,400	24.21	25.42
	FS.6-FMS-3-2	13/12/2022	20/12/2022	15.22	30.00	5,458.09	18,800	26.21	
	FS.6-FMS-3-3	13/12/2022	20/12/2022	15.23	30.10	5,483.48	18,600	25.83	

A04.2: Resistencia a compresión (ASTM C 39)

Mezcla	Edad de ensayo	Identificación de muestra	Fecha de obtención	Fecha de ensayo	Diámetro cm	Altura cm	Volumen cm ³	Carga Máxima kg	Resistencia a compresión, kg/cm ²	Resistencia a compresión promedio, kg/cm ²
CP	7 días	CP-1	30/11/2022	07/12/2022	15.10	30.10	5,390.27	58,417	326.21	323.33
		CP-2	30/11/2022	07/12/2022	15.10	30.10	5,390.27	62,684	350.04	
		CP-3	30/11/2022	07/12/2022	15.15	30.15	5,435.04	56,118	311.31	
		CP-4	30/11/2022	07/12/2022	15.12	30.15	5,413.53	58,794	327.45	
		CP-5	30/11/2022	07/12/2022	15.11	30.10	5,397.41	54,693	305.01	
		CP-6	30/11/2022	07/12/2022	15.20	30.10	5,461.90	58,067	320.00	
	28 días	CP-1	30/11/2022	28/12/2022	10.08	20.15	1,608.00	36,841	461.66	438.58
		CP-2	30/11/2022	28/12/2022	10.10	20.10	1,610.38	33,966	423.95	
		CP-3	30/11/2022	28/12/2022	10.04	20.15	1,595.26	34,053	430.13	
FF1-20	7 días	FF1-20-1	21/11/2022	28/11/2022	15.19	30.20	5,472.84	55,626	306.95	307.50
		FF1-20-2	21/11/2022	28/11/2022	15.22	30.30	5,512.67	55,347	304.21	
		FF1-20-3	21/11/2022	28/11/2022	15.21	30.30	5,505.43	56,658	311.83	
		FF1-20-4	21/11/2022	28/11/2022	15.24	30.30	5,523.54	55,120	302.37	
		FF1-20-5	21/11/2022	28/11/2022	15.18	30.30	5,480.12	55,875	308.94	
		FF1-20-6	21/11/2022	28/11/2022	15.21	30.30	5,505.43	56,451	310.69	
	28 días	FF1-20-1	05/12/1955	03/01/2023	9.80	20.10	1,516.14	33,218	440.38	442.02
		FF1-20-2	05/12/1955	03/01/2023	9.85	20.15	1,535.46	34,101	447.51	
		FF1-20-3	05/12/1955	03/01/2023	9.92	20.20	1,561.22	33,864	438.15	
FF1-25	7 días	FF1-25-1	22/11/2022	29/11/2022	15.22	30.10	5,472.68	54,657	300.62	301.15
		FF1-25-2	22/11/2022	29/11/2022	15.21	30.10	5,469.09	55,984	308.12	
		FF1-25-3	22/11/2022	29/11/2022	15.23	30.10	5,483.48	52,815	289.91	
		FF1-25-4	22/11/2022	29/11/2022	15.21	30.10	5,469.09	53,778	295.98	
		FF1-25-5	22/11/2022	29/11/2022	15.17	30.10	5,440.36	55,386	306.44	



	28 días	FF1-25-6	22/11/2022	29/11/2022	15.16	30.10	5,433.19	55,210	305.86	457.73
		FF1-25-1	05/12/1955	03/01/2023	9.92	20.10	1,553.49	35,506	459.40	
		FF1-25-2	05/12/1955	03/01/2023	9.90	20.15	1,551.08	35,416	460.09	
		FF1-25-3	05/12/1955	03/01/2023	9.95	20.20	1,570.68	35,278	453.70	
FF1-30	7 días	FF1-30-1	22/11/2022	29/11/2022	15.24	30.10	5,490.68	55,073	301.91	299.95
		FF1-30-2	22/11/2022	29/11/2022	15.25	30.10	5,497.89	54,449	298.10	
		FF1-30-3	22/11/2022	29/11/2022	15.21	30.10	5,469.09	56,284	309.77	
		FF1-30-4	22/11/2022	29/11/2022	15.16	30.20	5,451.24	52,983	293.53	
		FF1-30-5	22/11/2022	29/11/2022	15.21	30.10	5,469.09	54,050	297.47	
		FF1-30-6	22/11/2022	29/11/2022	15.23	30.10	5,483.48	54,457	298.93	
	28 días	FF1-30-1	05/12/1955	03/01/2023	10.00	20.10	1,578.65	36,730	467.66	457.80
		FF1-30-2	05/12/1955	03/01/2023	9.70	20.10	1,485.35	34,125	461.78	
		FF1-30-3	05/12/1955	03/01/2023	9.90	20.30	1,562.63	34,174	443.95	
FF4-20	7 días	FF4-20-1	23/11/2022	30/11/2022	15.25	30.20	5,516.16	51,880	284.03	293.91
		FF4-20-2	23/11/2022	30/11/2022	15.27	30.20	5,530.63	54,313	296.58	
		FF4-20-3	23/11/2022	30/11/2022	15.22	30.10	5,476.28	52,315	287.55	
		FF4-20-4	23/11/2022	30/11/2022	15.11	30.10	5,397.41	52,492	292.73	
		FF4-20-5	23/11/2022	30/11/2022	15.13	30.10	5,411.71	53,740	298.90	
		FF4-20-6	23/11/2022	30/11/2022	15.19	30.10	5,454.71	55,030	303.66	
	28 días	FF4-20-1	23/11/2022	20/12/2022	10.11	20.10	1,613.57	32,390	403.48	416.66
		FF4-20-2	23/11/2022	20/12/2022	10.16	20.00	1,621.46	35,031	432.09	
		FF4-20-3	23/11/2022	20/12/2022	10.15	20.05	1,622.32	33,531	414.40	
FF4-25	7 días	FF4-25-1	23/11/2022	30/11/2022	15.20	30.15	5,470.97	54,803	302.01	295.52
		FF4-25-2	23/11/2022	30/11/2022	15.20	30.10	5,461.90	51,399	283.26	
		FF4-25-3	23/11/2022	30/11/2022	15.25	30.10	5,497.89	54,835	300.21	
		FF4-25-4	23/11/2022	30/11/2022	15.25	30.15	5,507.02	54,363	297.63	
		FF4-25-5	23/11/2022	30/11/2022	15.27	30.05	5,503.16	55,059	300.65	
		FF4-25-6	23/11/2022	30/11/2022	15.27	30.10	5,512.32	52,989	289.35	
	28 días	FF4-25-1	23/11/2022	20/12/2022	10.00	20.10	1,578.65	31,528	401.43	424.36



		FF4-25-2	23/11/2022	20/12/2022	10.19	20.10	1,639.21	34,408	421.91	
		FF4-25-3	23/11/2022	20/12/2022	10.19	20.10	1,639.21	36,677	449.73	
FF4-30	7 días	FF4-30-1	24/11/2022	01/12/2022	15.14	30.15	5,427.86	51,494	286.03	286.49
		FF4-30-2	24/11/2022	01/12/2022	15.17	30.10	5,440.36	51,962	287.49	
		FF4-30-3	24/11/2022	01/12/2022	15.17	30.10	5,440.36	51,468	284.76	
		FF4-30-4	24/11/2022	01/12/2022	15.15	30.10	5,426.02	51,932	288.08	
		FF4-30-5	24/11/2022	01/12/2022	15.15	30.10	5,426.02	52,313	290.20	
		FF4-30-6	24/11/2022	01/12/2022	15.18	30.05	5,438.48	51,107	282.39	
	28 días	FF4-30-1	24/11/2022	21/12/2022	10.05	20.05	1,590.51	34,117	430.08	427.59
		FF4-30-2	24/11/2022	21/12/2022	10.00	20.05	1,574.72	32,331	411.65	
		FF4-30-3	24/11/2022	21/12/2022	10.05	20.10	1,594.48	34,987	441.05	
STX-3	7 días	STX-3-1	24/11/2022	01/12/2022	15.27	30.10	5,512.32	51,548	281.48	280.72
		STX-3-2	24/11/2022	01/12/2022	15.15	30.05	5,417.01	50,391	279.54	
		STX-3-3	24/11/2022	01/12/2022	15.17	30.05	5,431.32	51,130	282.89	
		STX-3-4	24/11/2022	01/12/2022	15.16	30.10	5,433.19	49,166	272.38	
		STX-3-5	24/11/2022	01/12/2022	15.15	30.10	5,426.02	50,606	280.73	
		STX-3-6	24/11/2022	01/12/2022	15.17	30.05	5,431.32	51,927	287.30	
	28 días	STX-3-1	24/11/2022	21/12/2022	10.05	20.05	1,590.51	32,318	407.40	410.25
		STX-3-2	24/11/2022	21/12/2022	10.17	20.10	1,632.78	33,298	409.91	
		STX-3-3	24/11/2022	21/12/2022	10.00	20.05	1,574.72	32,472	413.45	
STX-5	7 días	STX-5-1	28/11/2022	05/12/2022	15.18	30.10	5,447.53	57,225	316.19	317.74
		STX-5-2	28/11/2022	05/12/2022	15.17	30.10	5,440.36	56,126	310.53	
		STX-5-3	28/11/2022	05/12/2022	15.22	30.10	5,476.28	59,184	325.30	
		STX-5-4	28/11/2022	05/12/2022	15.25	30.15	5,507.02	57,429	314.41	
		STX-5-5	28/11/2022	05/12/2022	15.27	30.10	5,512.32	59,335	324.00	
		STX-5-6	28/11/2022	05/12/2022	15.22	30.10	5,476.28	57,495	316.02	
	28 días	STX-5-1	06/12/2022	03/01/2023	9.73	20.50	1,524.30	31,733	426.77	423.61
		STX-5-2	06/12/2022	03/01/2023	9.82	20.20	1,529.90	31,126	410.97	
		STX-5-3	06/12/2022	03/01/2023	9.75	20.30	1,515.64	32,335	433.09	



STX-7	7 días	STX-7-1	28/11/2022	05/12/2022	15.19	30.10	5,454.71	57,564	317.65	317.30
		STX-7-2	28/11/2022	05/12/2022	15.21	30.10	5,469.09	55,880	307.54	
		STX-7-3	28/11/2022	05/12/2022	15.25	30.05	5,488.76	59,648	326.56	
		STX-7-4	28/11/2022	05/12/2022	15.22	30.10	5,476.28	55,748	306.42	
		STX-7-5	28/11/2022	05/12/2022	15.24	30.15	5,499.80	58,748	322.06	
		STX-7-6	28/11/2022	05/12/2022	15.23	30.10	5,483.48	58,948	323.58	
	28 días	STX-7-1	06/12/2022	03/01/2023	10.00	20.00	1,570.80	32,732	416.76	407.17
		STX-7-2	06/12/2022	03/01/2023	9.83	20.40	1,548.20	30,617	403.43	
		STX-7-3	06/12/2022	03/01/2023	9.74	20.10	1,497.63	29,902	401.32	
		STX-7-4	06/12/2022	03/01/2023	9.85	20.20	1,539.27	33,934	445.32	
		STX-7-1	28/11/2022	27/12/2022	9.88	20.10	1,540.99	38,750	505.44	
		STX-7-2	28/11/2022	27/12/2022	9.92	20.30	1,568.95	32,190	416.49	
FMS-3	7 días	STX-7-3	28/11/2022	27/12/2022	9.98	20.10	1,572.34	39,566	505.79	
		FMS-3-1	29/11/2022	06/12/2022	15.22	30.10	5,476.28	52,319	287.57	283.21
		FMS-3-2	29/11/2022	06/12/2022	15.25	30.15	5,507.02	50,117	274.38	
		FMS-3-3	29/11/2022	06/12/2022	15.22	30.15	5,485.38	50,526	277.71	
		FMS-3-4	29/11/2022	06/12/2022	15.15	30.10	5,426.02	51,643	286.48	
		FMS-3-5	29/11/2022	06/12/2022	15.22	30.10	5,476.28	52,345	287.71	
	28 días	FMS-3-6	29/11/2022	06/12/2022	15.22	30.10	5,476.28	51,924	285.40	429.39
		FMS-3-1	29/11/2022	27/12/2022	9.92	20.20	1,561.22	35,959	465.26	
		FMS-3-2	29/11/2022	27/12/2022	9.94	20.20	1,567.52	28,676	369.54	
FMS-5	7 días	FMS-3-3	29/11/2022	27/12/2022	9.94	20.20	1,567.52	35,182	453.38	278.96
		FMS-5-1	29/11/2022	06/12/2022	15.25	30.10	5,497.89	53,314	291.88	
		FMS-5-2	29/11/2022	06/12/2022	15.24	30.10	5,490.68	51,544	282.56	
		FMS-5-3	29/11/2022	06/12/2022	15.27	30.10	5,512.32	49,095	268.08	
		FMS-5-4	29/11/2022	06/12/2022	15.16	30.15	5,442.21	51,658	286.19	
		FMS-5-5	29/11/2022	06/12/2022	15.22	30.15	5,485.38	51,913	285.34	
	28 días	FMS-5-6	29/11/2022	06/12/2022	15.16	30.10	5,433.19	46,874	259.68	424.98
		FMS-5-1	29/11/2022	27/12/2022	9.95	20.10	1,562.90	31,111	400.11	



FMS-7		FMS-5-2	29/11/2022	27/12/2022	9.96	20.20	1,573.84	35,092	450.40	
		FMS-5-3	29/11/2022	27/12/2022	9.98	20.10	1,572.34	32,614	416.92	
		FMS-5-4	29/11/2022	27/12/2022	9.91	20.20	1,558.08	33,358	432.48	
	7 días	FMS-7-1	30/11/2022	07/12/2022	15.21	30.15	5,478.17	51,157	281.55	285.67
		FMS-7-2	30/11/2022	07/12/2022	15.22	30.10	5,476.28	53,246	292.66	
		FMS-7-3	30/11/2022	07/12/2022	15.23	30.10	5,483.48	50,591	277.70	
		FMS-7-4	30/11/2022	07/12/2022	15.21	30.10	5,469.09	53,315	293.43	
		FMS-7-5	30/11/2022	07/12/2022	15.16	30.15	5,442.21	51,702	286.43	
		FMS-7-6	30/11/2022	07/12/2022	15.13	30.10	5,411.71	50,747	282.26	
	28 días	FMS-7-1	30/11/2022	28/12/2022	10.02	20.05	1,581.03	30,987	392.97	386.64
		FMS-7-2	30/11/2022	28/12/2022	10.13	20.20	1,628.02	27,413	340.13	
		FMS-7-3	30/11/2022	28/12/2022	10.06	20.15	1,601.63	30,752	386.89	
		FMS-7-4	30/11/2022	28/12/2022	10.05	20.10	1,594.48	33,840	426.59	

A04.3: Módulo de elasticidad (ASTM C 469)

Mezcla	Edad de ensayo	Identificación de muestra	Fecha de obtención	Fecha de ensayo	Altura cm	Área cm ²	Esfuerzo f_{ck} kg/cm ²	Esfuerzo σ_2 (40% f_{ck}) kg/cm ²	Esfuerzo σ_1 (0.00005) kg/cm ²	ϵ_2 (cm/cm x 10 ⁻³)	E_c kg/cm ²	E_c (promedio) kg/cm ²
CP	7 días	CP-1	14/12/2023	21/12/2023	15.10	179.08	326.21	130.48	26.26	0.385	310,667.3	315,430.8
		CP-2	14/12/2023	21/12/2023	15.10	179.08	350.04	140.01	23.34	0.418	316,725.8	
		CP-3	14/12/2023	21/12/2023	15.15	180.27	311.31	124.52	23.19	0.368	318,899.2	
FF1-20	7 días	FF1-20-1	05/12/2022	12/12/2022	30.10	182.41	300.46	120.19	9.43	0.374	341,686.7	335,220.5
		FF1-20-2	05/12/2022	12/12/2022	30.10	182.65	289.60	115.84	10.30	0.346	357,126.2	
		FF1-20-3	05/12/2022	12/12/2022	30.10	181.46	304.71	121.88	6.14	0.427	306,848.5	
FF1-25	7 días	FF1-25-1	05/12/2022	12/12/2022	30.20	183.61	293.20	117.28	14.95	0.337	356,486.8	349,787.1
		FF1-25-2	05/12/2022	12/12/2022	30.20	182.65	296.00	118.40	18.37	0.346	337,409.8	
		FF1-25-3	05/12/2022	12/12/2022	30.10	182.18	302.82	121.13	15.02	0.349	355,464.7	
FF1-30	7 días	FF1-30-1	05/12/2022	12/12/2022	30.10	185.42	294.94	117.97	9.84	0.372	336,166.9	355,418.5
		FF1-30-2	05/12/2022	12/12/2022	30.10	181.34	298.95	119.58	10.71	0.334	383,495.2	
		FF1-30-3	05/12/2022	12/12/2022	30.20	180.50	296.76	118.70	10.46	0.362	346,593.6	
FF4-20	7 días	FF4-20-1	12/12/2022	19/12/2022	15.31	184.09	259.41	103.76	14.10	0.330	320,237.5	284,478.8
		FF4-20-2	12/12/2022	19/12/2022	15.33	184.58	234.34	93.74	10.44	0.449	208,725.6	
		FF4-20-3	12/12/2022	19/12/2022	15.35	185.06	245.72	98.29	14.02	0.310	324,473.5	
FF4-25	7 días	FF4-25-1	12/12/2022	19/12/2022	15.15	180.27	262.77	105.11	20.84	0.305	330,676.1	321,800.8
		FF4-25-2	12/12/2022	19/12/2022	15.25	182.65	267.74	107.10	27.47	0.302	316,388.1	
		FF4-25-3	12/12/2022	19/12/2022	15.25	182.65	251.37	100.55	9.81	0.335	318,338.1	
FF4-30	7 días	FF4-30-1	12/12/2022	19/12/2022	15.15	180.27	288.08	115.23	24.56	0.343	309,728.9	299,061.1
		FF4-30-2	12/12/2022	19/12/2022	15.15	180.27	290.20	116.08	7.88	0.423	290,455.6	
		FF4-30-3	12/12/2022	19/12/2022	15.18	180.98	282.39	112.96	10.12	0.396	296,998.9	
STX-3	7 días	STX-3-1	06/12/2022	13/12/2022	15.26	182.89	268.59	107.44	6.14	0.394	294,626.1	303,197.9
		STX-3-2	06/12/2022	13/12/2022	15.17	180.74	266.99	106.80	8.67	0.376	301,238.5	
		STX-3-3	06/12/2022	13/12/2022	15.25	182.65	270.85	108.34	10.56	0.362	313,729.3	
STX-5	7 días	STX-5-1	06/12/2022	13/12/2022	15.19	181.22	279.93	111.97	8.62	0.401	294,260.9	305,023.5
		STX-5-2	06/12/2022	13/12/2022	15.32	184.33	266.52	106.61	7.85	0.384	295,784.8	
		STX-5-3	06/12/2022	13/12/2022	15.30	183.85	275.77	110.31	9.73	0.359	325,024.8	
STX-7	7 días	STX-7-1	06/12/2022	13/12/2022	15.20	181.46	271.48	108.59	11.52	0.375	299,129.5	302,219.7
		STX-7-2	06/12/2022	13/12/2022	15.24	182.41	263.99	105.59	7.63	0.378	298,287.6	
		STX-7-3	06/12/2022	13/12/2022	15.30	183.85	271.21	108.48	12.79	0.359	309,242.1	
FMS-3	7 días	FMS-3-1	13/12/2022	20/12/2022	15.25	182.65	255.27	102.11	37.45	0.335	226,577.9	300,129.2
		FMS-3-2	13/12/2022	20/12/2022	15.25	182.65	260.27	104.11	14.71	0.313	340,479.7	
		FMS-3-3	13/12/2022	20/12/2022	15.28	183.37	280.87	112.35	15.78	0.340	333,329.9	
FMS-5	7 días	FMS-5-1	13/12/2022	20/12/2022	15.24	182.41	248.60	99.44	25.78	0.257	355,288.1	334,358.2
		FMS-5-2	13/12/2022	20/12/2022	15.26	182.89	247.58	99.03	14.16	0.311	325,274.8	
		FMS-5-3	13/12/2022	20/12/2022	15.22	181.94	284.62	113.85	14.26	0.359	322,511.7	
FMS-7	7 días	FMS-7-1	13/12/2022	20/12/2022	15.15	180.27	251.42	100.57	21.97	0.311	301,008.6	305,991.3
		FMS-7-2	13/12/2022	20/12/2022	15.20	181.46	250.39	100.16	10.37	0.344	305,400.7	
		FMS-7-3	13/12/2022	20/12/2022	15.12	179.55	267.33	106.93	13.97	0.348	311,564.6	

OPTIMIZACIÓN DEL CONCRETO HIDRÁULICO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL, REFORZADO CON FIBRAS MACRO SINTÉTICAS Y DE ACERO WIRAND EN LOSAS INDUSTRIALES

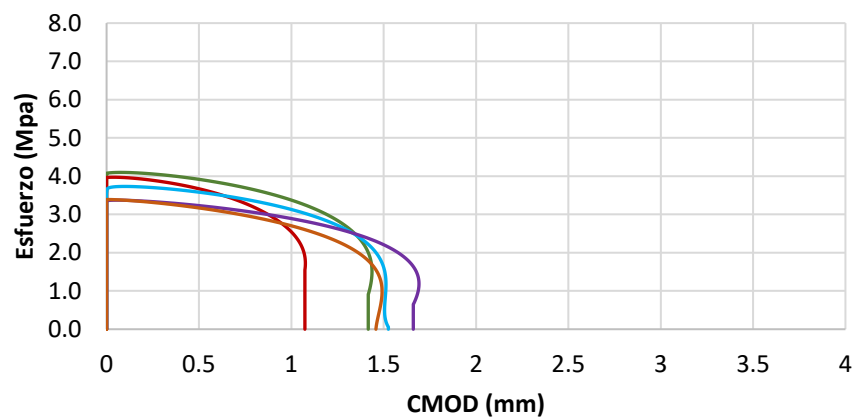
A04.4: Resistencia última y tenacidad (EN 14651)

Mezcla	Edad de ensayo	Fecha de obtención	Fecha de ensayo	Ancho mm	Altura efectiva cm	Longitud de apoyo mm	Carga, kN		Resistencia, MPa			Desplazamiento, mm		Carga residual, kN		Resistencia residual, Mpa		Tenacidad J	Relación de flexión equivalente
							Primer pico	Máxima	Primer pico	Máxima	Deflexión: δ_{3mm}	Primer pico	Máxima			$f_{R,1}$	$f_{R,4}$		
CP-1	7 días	17/11/2022	01/12/2022	152.0	125.0	450.0	14.42	14.42	4.10	4.10	1.50	0.05	0.08	13.75	#N/D	3.91	#N/D	15.80	37%
CP-2	7 días	30/11/2012	07/12/2022	152.5	125.5	450.0	14.13	14.14	3.97	3.97	1.71	0.05	0.03	13.01	#N/D	3.66	#N/D	11.81	43%
CP-3	7 días	30/11/2012	07/12/2022	152.0	125.0	450.0	13.11	13.13	3.73	3.73	0.06	0.05	0.10	12.60	#N/D	3.58	#N/D	14.84	1%
CP-4	7 días	21/11/2022	28/11/2022	152.5	125.5	450.0	12.00	12.00	3.37	3.37	1.20	0.05	0.05	11.49	#N/D	3.23	#N/D	15.08	35%
CP-5	7 días	21/11/2022	28/11/2022	152.0	125.0	450.0	11.90	11.93	3.38	3.39	1.00	0.05	0.00	11.13	#N/D	3.16	#N/D	15.40	29%
FA.1-FF1-20-1	7 días	21/11/2022	28/11/2022	150.0	120.0	450.0	13.97	14.00	4.37	4.37	2.10	0.05	0.03	9.79	6.69	3.06	2.09	23.99	48%
FA.1-FF1-20-2	7 días	21/11/2022	28/11/2022	152.0	119.0	450.0	12.75	12.75	4.00	4.00	2.42	0.05	0.04	9.06	7.72	2.84	2.42	25.97	60%
FA.1-FF1-20-3	7 días	21/11/2022	28/11/2022	152.5	125.0	450.0	16.00	16.05	4.53	4.55	2.16	0.05	0.02	12.77	7.62	3.62	2.16	27.33	47%
FA.1-FF1-20-4	7 días	05/12/2022	12/12/2022	152.0	126.5	450.0	14.54	14.55	4.03	4.04	2.38	0.05	0.08	10.33	8.56	2.87	2.38	29.99	59%
FA.1-FF1-20-5	7 días	05/12/2022	12/12/2022	152.0	126.0	450.0	14.54	14.55	4.07	4.07	2.46	0.05	0.03	9.65	8.78	2.70	2.45	29.12	60%
FA.2-FF1-25-1	7 días	21/11/2022	28/11/2022	151.5	126.5	450.0	15.56	15.57	4.33	4.33	2.95	0.05	0.07	12.71	10.55	3.54	2.94	37.89	68%
FA.2-FF1-25-2	7 días	21/11/2022	28/11/2022	154.0	125.5	450.0	16.39	16.40	4.56	4.56	2.89	0.05	0.07	10.23	10.37	2.85	2.89	34.89	63%
FA.2-FF1-25-3	7 días	21/11/2022	28/11/2022	151.5	126.0	450.0	15.16	15.18	4.26	4.26	3.30	0.05	0.08	11.44	11.75	3.21	3.30	36.59	77%
FA.2-FF1-25-4	7 días	05/12/2022	12/12/2022	152.0	126.0	450.0	14.66	14.67	4.10	4.10	3.01	0.05	0.01	10.29	10.76	2.88	3.01	32.27	73%
FA.2-FF1-25-5	7 días	05/12/2022	12/12/2022	151.0	122.0	450.0	15.13	15.23	4.54	4.57	3.10	0.05	0.00	9.95	10.31	2.99	3.10	33.35	68%
FA.3-FF1-30-1	7 días	22/11/2022	29/11/2022	152.5	126.0	450.0	17.30	17.36	4.82	4.84	3.92	0.05	0.09	14.63	14.05	4.08	3.92	46.57	81%
FA.3-FF1-30-2	7 días	22/11/2022	29/11/2022	153.0	126.0	450.0	14.56	16.05	4.04	4.46	3.97	0.05	2.66	11.67	14.27	3.24	3.97	43.62	89%
FA.3-FF1-30-3	7 días	22/11/2022	29/11/2022	152.0	124.0	450.0	16.15	16.18	4.66	4.67	4.30	0.05	0.03	13.79	14.85	3.98	4.29	45.89	92%
FA.3-FF1-30-4	7 días	22/11/2022	29/11/2022	151.0	125.0	450.0	15.53	15.83	4.44	4.53	4.20	0.05	2.38	14.34	14.65	4.10	4.19	45.39	93%
FA.3-FF1-30-5	7 días	22/11/2022	29/11/2022	150.0	126.0	450.0	13.05	14.12	3.70	4.00	3.85	0.05	2.37	10.97	13.58	3.11	3.85	39.26	96%
FA.4-FF4-20-1	7 días	21/11/2022	28/11/2022	151.0	125.5	450.0	16.39	16.43	4.65	4.66	4.52	0.05	0.09	12.08	15.93	3.43	4.52	43.46	97%
FA.4-FF4-20-2	7 días	21/11/2022	28/11/2022	152.0	127.0	450.0	16.57	16.60	4.56	4.57	4.23	0.05	0.12	12.38	15.37	3.41	4.23	44.97	93%
FA.4-FF4-20-3	7 días	21/11/2022	28/11/2022	151.5	125.5	450.0	16.88	16.97	4.77	4.80	3.87	0.05	0.09	12.71	13.68	3.60	3.87	40.22	81%
FA.4-FF4-20-4	7 días	05/12/2022	12/12/2022	151.0	127.0	450.0	15.51	15.63	4.30	4.33	4.01	0.05	0.08	13.69	14.41	3.80	3.99	44.16	92%
FA.4-FF4-20-5	7 días	05/12/2022	12/12/2022	153.0	127.0	450.0	16.36	16.86	4.47	4.61	4.61	0.05	3.50	14.80	16.86	4.05	4.61	48.01	100%
FA.5-FF4-25-1	7 días	23/11/2022	30/11/2022	152.5	126.5	450.0	17.97	19.41	4.97	5.37	5.14	0.05	2.25	15.66	18.59	4.33	5.14	54.86	96%
FA.5-FF4-25-2	7 días	23/11/2022	30/11/2022	151.0	126.5	450.0	16.06	18.92	4.49	5.29	5.21	0.05	2.50	13.57	18.63	3.79	5.21	51.69	99%
FA.5-FF4-25-3	7 días	23/11/2022	30/11/2022	151.5	125.5	450.0	17.52	18.35	4.96	5.19	4.75	0.05	1.12	16.78	16.76	4.75	4.74	53.06	91%
FA.5-FF4-25-4	7 días	05/12/2022	12/12/2022	152.0	125.5	450.0	17.61	19.06	4.96	5.37	5.35	0.05	2.99	17.02	18.96	4.80	5.35	54.73	99%
FA.5-FF4-25-5	7 días	05/12/2022	12/12/2022	152.5	126.5	450.0	17.97	19.88	4.97	5.50	5.30	0.05	2.39	15.05	19.17	4.16	5.30	55.73	96%
FA.6-FF4-30-1	7 días	21/11/2022	28/11/2022	153.0	126.5	450.0	18.63	23.61	5.14	6.51	6.40	0.05	4.45	17.44	23.22	4.81	6.40	61.60	98%
FA.6-FF4-30-2	7 días	21/11/2022	28/11/2022	152.5	126.0	450.0	18.77	24.27	5.23	6.77	6.52	0.05	2.63	21.77	23.36	6.07	6.51	68.51	96%
FA.6-FF4-30-3	7 días	21/11/2022	28/11/2022	152.0	126.0	450.0	17.98	25.17	5.03	7.04	6.97	0.05	2.91	19.96	24.90	5.58	6.96	69.15	99%
FA.6-FF4-30-4	7 días	05/12/2022	12/12/2022	152.5	126.0	450.0	18.56	22.84	5.18	6.37	6.23	0.05	2.75	20.03	22.36	5.58	6.24	64.67	98%
FA.6-FF4-30-5	7 días	05/12/2022	12/12/2022	152.0	123.0	450.0	16.43	22.47	4.82	6.59	6.55	0.05	3.28	17.80	22.31	5.22	6.55	60.59	99%

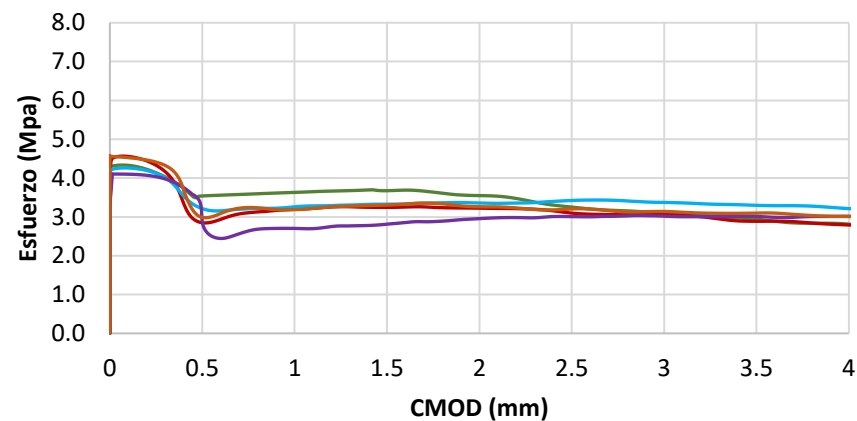


Mezcla	Edad de ensayo	Fecha de obtención	Fecha de ensayo	Ancho mm	Altura efectiva cm	Longitud de apoyo mm	Carga, kN		Resistencia, MPa			Desplazamiento, mm		Carga residual, kN		Resistencia residual, Mpa		Tenacidad J	Relación de flexión equivalente
							Primer pico	Máxima	Primer pico	Máxima	Deflexión: δ_{mm}	Primer pico	Máxima						
				b	h_{sp}	l	F_L	F_M	$f'_{c,LL}$	$f'_{cm,LL}$	$f'_{cs,LL}$	$CMOD_{FL}$	$CMOD_{FM}$	F_1	F_2	$f_{R,1}$	$f_{R,2}$	T_1	$R_{e,1}$ (%)
FS.1-STX-3-1	7 días	24/11/2022	01/12/2022	152.0	125.0	450.0	13.80	13.84	3.92	3.93	2.33	0.05	0.12	12.85	8.22	3.65	2.34	27.68	59%
FS.1-STX-3-2	7 días	24/11/2022	01/12/2022	151.5	125.0	450.0	12.94	13.00	3.69	3.71	2.49	0.05	0.11	10.88	8.74	3.10	2.49	27.97	67%
FS.1-STX-3-3	7 días	24/11/2022	01/12/2022	152.0	125.0	450.0	13.09	13.09	3.72	3.72	2.16	0.05	0.06	11.35	7.58	3.23	2.15	25.07	58%
FS.1-STX-3-4	7 días	06/12/2022	13/12/2022	151.0	126.0	450.0	12.59	12.60	3.54	3.55	1.88	0.05	0.02	10.97	6.66	3.09	1.88	22.76	53%
FS.1-STX-3-5	7 días	06/12/2022	13/12/2022	151.5	126.5	450.0	14.17	14.17	3.95	3.95	1.70	0.05	0.06	12.39	6.08	3.45	1.69	22.64	43%
FS.2-STX-5-1	7 días	28/11/2022	05/12/2022	151.0	128.0	450.0	17.20	17.24	4.69	4.71	3.11	0.05	0.01	10.67	11.39	2.91	3.11	36.31	66%
FS.2-STX-5-2	7 días	28/11/2022	05/12/2022	152.5	127.0	450.0	15.47	15.48	4.25	4.25	3.80	0.05	0.00	12.14	13.82	3.33	3.79	41.21	89%
FS.2-STX-5-3	7 días	28/11/2022	05/12/2022	150.5	126.0	450.0	15.39	15.39	4.35	4.35	3.41	0.05	0.02	11.76	12.05	3.32	3.40	39.65	78%
FS.2-STX-5-4	7 días	06/12/2022	13/12/2022	152.0	126.0	450.0	15.14	15.16	4.23	4.24	3.46	0.05	0.10	14.31	12.36	4.00	3.46	37.62	82%
FS.2-STX-5-5	7 días	06/12/2022	13/12/2022	151.0	122.0	450.0	14.14	14.15	4.25	4.25	3.56	0.05	0.00	11.19	11.84	3.36	3.55	36.55	84%
FS.3-STX-7-1	7 días	28/11/2022	05/12/2022	152.0	125.0	450.0	17.23	17.32	4.90	4.92	4.82	0.05	2.66	13.14	16.94	3.73	4.82	48.21	98%
FS.3-STX-7-2	7 días	28/11/2022	05/12/2022	152.0	126.0	450.0	18.41	18.44	5.15	5.16	4.86	0.05	0.02	15.99	16.23	4.47	4.54	51.56	94%
FS.3-STX-7-3	7 días	28/11/2022	05/12/2022	154.0	127.0	450.0	18.77	18.78	5.10	5.10	4.12	0.05	0.04	14.96	15.13	4.07	4.11	47.55	81%
FS.3-STX-7-4	7 días	06/12/2022	13/12/2022	152.0	125.0	450.0	16.87	16.90	4.80	4.80	4.40	0.05	0.02	14.58	15.43	4.14	4.39	47.75	92%
FS.3-STX-7-5	7 días	06/12/2022	13/12/2022	152.0	126.0	450.0	17.23	17.24	4.82	4.82	3.84	0.05	0.04	13.22	13.70	3.70	3.83	45.59	80%
FS.4-FMS-3-1	7 días	29/11/2022	06/12/2022	152.0	127.0	450.0	15.25	15.25	4.20	4.20	1.97	0.05	0.06	14.15	7.17	3.90	1.97	25.16	47%
FS.4-FMS-3-2	7 días	29/11/2022	06/12/2022	153.0	126.5	450.0	17.65	17.66	4.86	4.87	2.46	0.05	0.03	13.86	8.91	3.82	2.46	30.26	51%
FS.4-FMS-3-3	7 días	29/11/2022	06/12/2022	152.5	125.5	450.0	16.11	16.12	4.53	4.53	2.81	0.05	0.07	13.04	10.00	3.66	2.81	30.91	62%
FS.4-FMS-3-4	7 días	13/12/2022	20/12/2022	152.0	125.5	450.0	14.74	14.91	4.16	4.20	2.07	0.05	0.00	11.28	7.34	3.18	2.07	25.03	49%
FS.4-FMS-3-5	7 días	13/12/2022	20/12/2022	150.0	125.0	450.0	13.33	13.34	3.84	3.84	2.09	0.05	0.08	11.80	7.23	3.40	2.08	25.69	54%
FS.5-FMS-5-1	7 días	29/11/2022	06/12/2022	152.0	125.0	450.0	15.81	15.86	4.49	4.51	3.11	0.05	0.09	9.37	10.71	2.66	3.05	34.39	69%
FS.5-FMS-5-2	7 días	29/11/2022	06/12/2022	153.0	127.0	450.0	17.28	17.28	4.73	4.73	3.75	0.05	0.05	10.44	12.70	2.85	3.47	40.93	79%
FS.5-FMS-5-3	7 días	29/11/2022	06/12/2022	151.0	121.0	450.0	13.75	13.82	4.20	4.22	3.63	0.05	0.09	10.03	11.57	3.06	3.53	34.46	86%
FS.5-FMS-5-4	7 días	13/12/2022	20/12/2022	151.0	125.0	450.0	15.52	15.53	4.44	4.44	3.58	0.05	0.04	11.55	12.51	3.30	3.58	37.25	81%
FS.5-FMS-5-5	7 días	13/12/2022	20/12/2022	152.0	125.0	450.0	14.44	14.48	4.10	4.12	3.72	0.05	0.09	10.51	13.09	2.99	3.72	37.87	90%
FS.6-FMS-7-1	7 días	30/11/2022	07/12/2022	151.5	125.0	450.0	17.08	18.23	4.87	5.20	5.18	0.05	4.11	16.79	18.17	4.79	5.18	53.19	100%
FS.6-FMS-7-2	7 días	30/11/2022	07/12/2022	151.5	122.0	450.0	16.02	17.36	4.79	5.20	5.08	0.05	4.09	14.27	16.98	4.27	5.08	48.21	98%
FS.6-FMS-7-3	7 días	30/11/2022	07/12/2022	152.5	125.5	450.0	15.30	17.83	4.30	5.01	4.79	0.05	2.47	12.84	17.06	3.61	4.79	48.70	96%
FS.6-FMS-7-4	7 días	13/12/2022	20/12/2022	152.5	125.0	450.0	16.46	16.72	4.66	4.74	4.68	0.05	3.68	14.44	16.51	4.09	4.68	46.83	99%
FS.6-FMS-7-5	7 días	13/12/2022	20/12/2022	151.5	125.5	450.0	15.57	17.54	4.40	4.96	4.92	0.05	3.72	14.17	17.42	4.01	4.93	47.49	99%

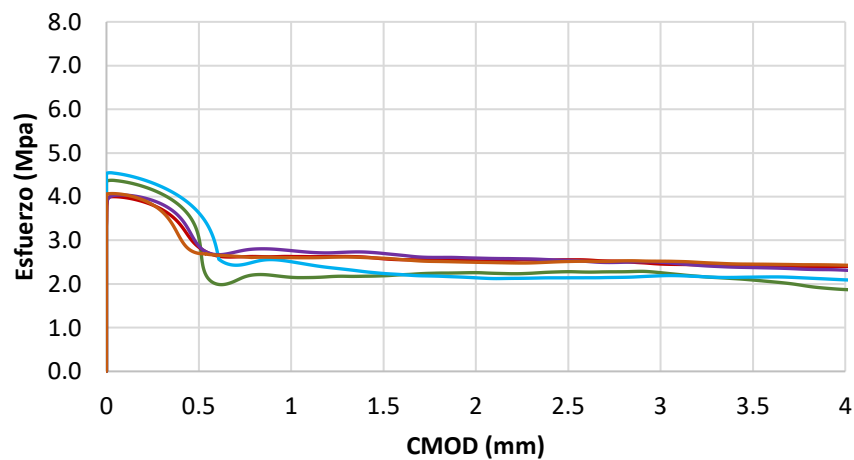
CP-PATRON



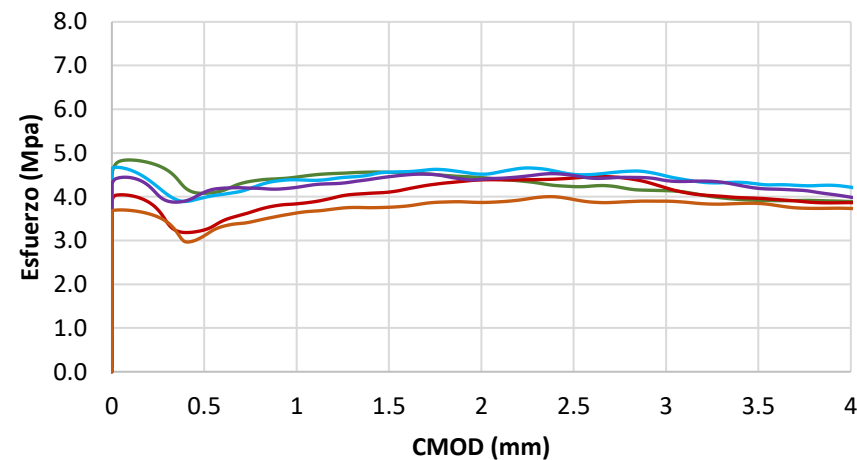
FF1-25

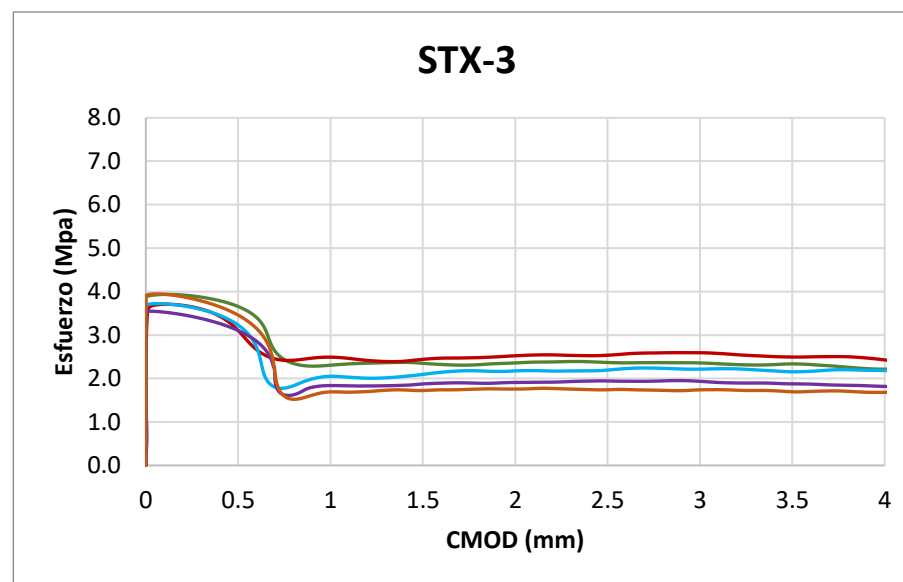
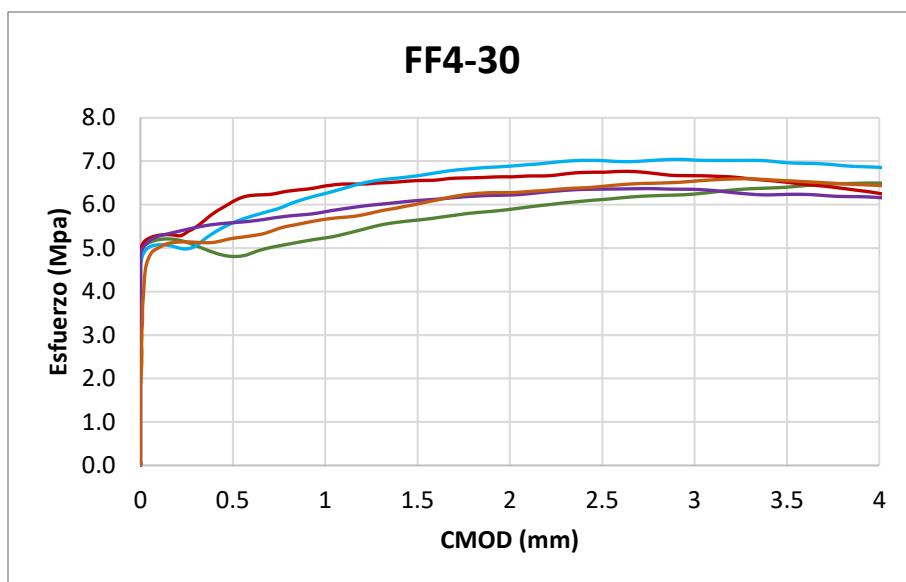
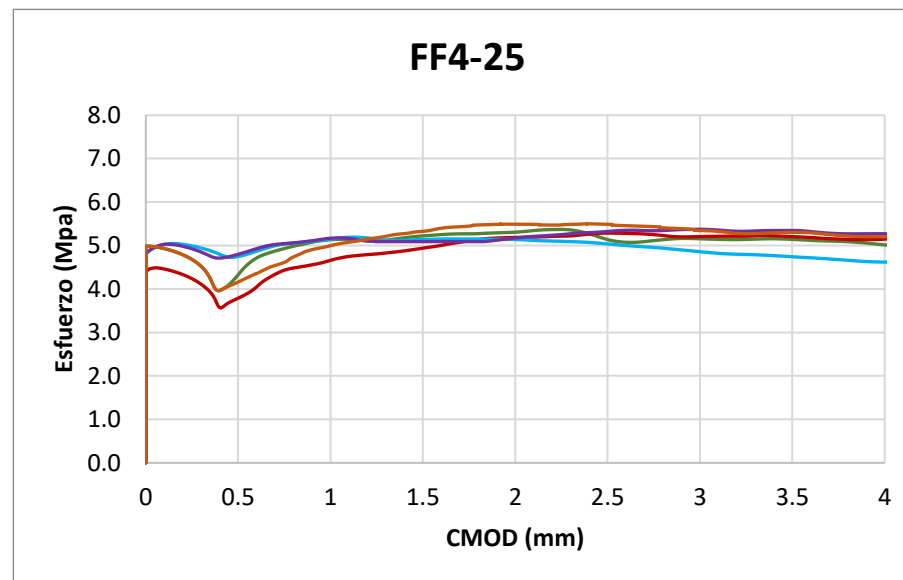
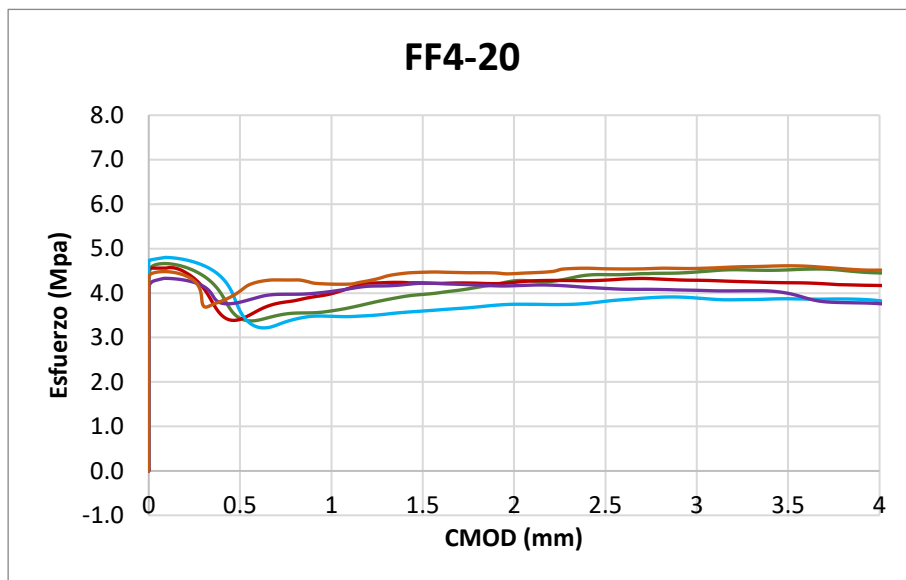


FF1-20

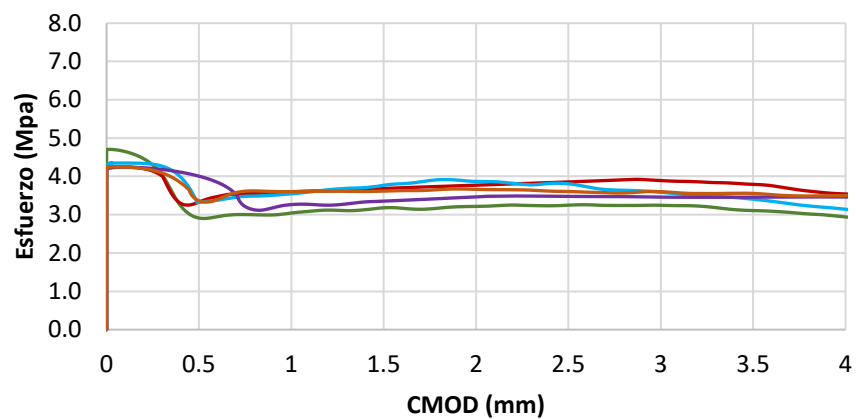


FF1-30

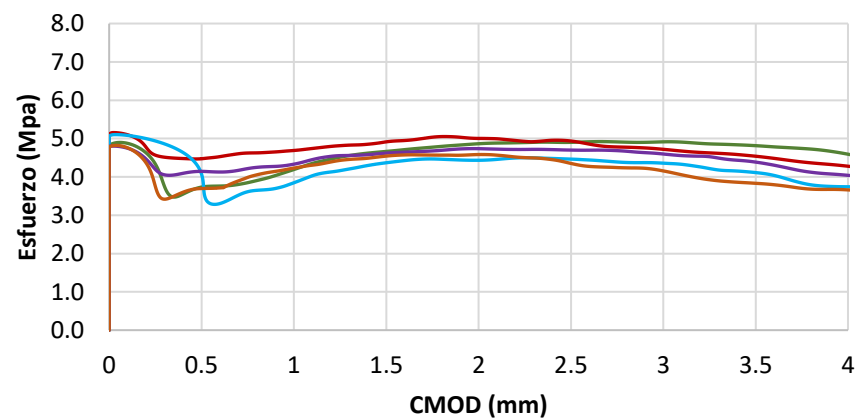




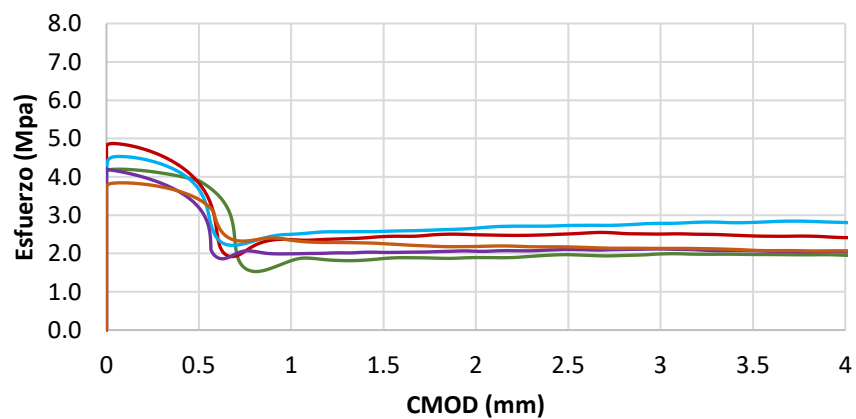
STX-5



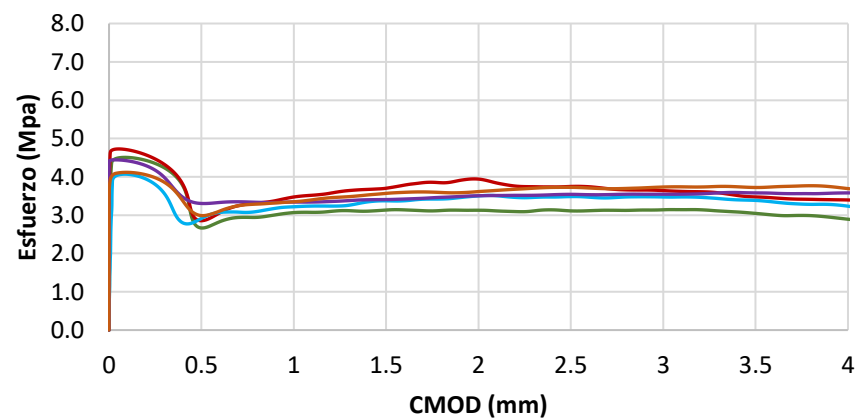
STX-7

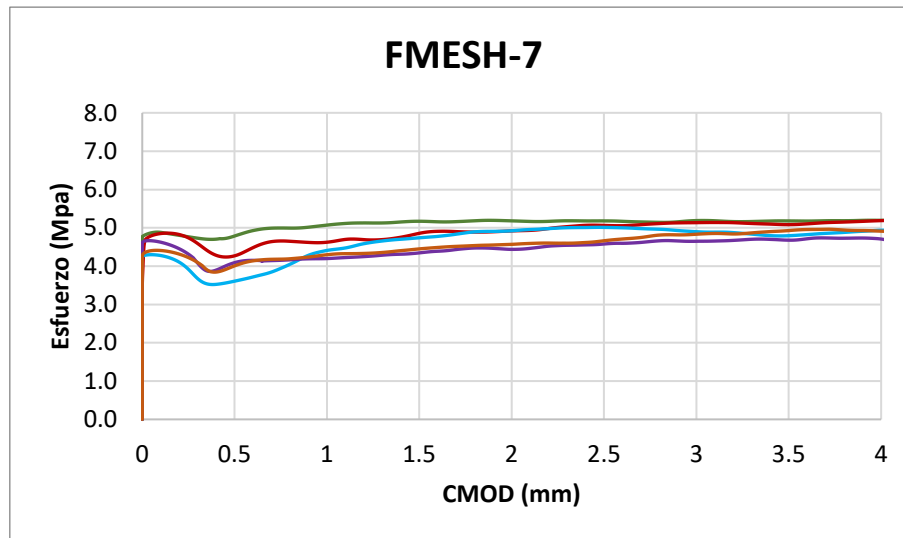


FMESH-3



FMESH-5





Anexo 05: Diseño del pavimento fibroreforzado utilizando la metodología TR34

A05.1: Consideraciones generales para el diseño

1. Propiedades de la resistencia para el concreto

Según el Eurocódigo 2

$$f_{cm} = f_{ck} + 8$$

$$f_{ctm} = \left\{ 0.3 f_{ck}^{2/3} \quad (f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}) \mid 2.12 \ln[1 + (f_{cm}/10)] \quad (f_{ck} > 50 \text{ MPa}) \right\}$$

$$E_{cm} = 22 (f_{cm}/10)^{0.3}$$

f_{cm} = Fuerza de compresión media (cilíndrica)

f_{ctm} = Resistencia a la tracción axial media

E_{cm} = Módulo de elasticidad secante

Tabla 1.1: Propiedades del concreto

f_{ck}	f_{cm}	f_{ctm}	E_{cm}
20 MPa	28 MPa	2.2 MPa	29,962 MPa
25 MPa	33 MPa	2.6 MPa	31,476 MPa
28 MPa	36 MPa	2.8 MPa	32,308 MPa
30 MPa	38 MPa	2.9 MPa	32,837 MPa
32 MPa	40 MPa	3.0 MPa	33,346 MPa
35 MPa	43 MPa	3.2 MPa	34,077 MPa
40 MPa	48 MPa	3.5 MPa	35,220 MPa
42 MPa	50 MPa	3.6 MPa	35,654 MPa
45 MPa	53 MPa	3.8 MPa	36,283 MPa
50 MPa	58 MPa	4.1 MPa	37,278 MPa

2. Factores de seguridad

Material	γ_m
Concreto	1.50
Concreto con fibra	1.50
Refuerzo (barra o tela)	1.15

Tipo de carga	γ_F
Estandaría definida	1.20
Cargas permanentes	1.35
Otro	1.50

3. Resistencia a la tracción a la flexión

La resistencia a la tracción a flexión característica del concreto simple de espesor específico se puede encontrar usando la siguiente ecuación:

$$f_{ctk,fl} = f_{ctm} \left(1.6 - \frac{h}{1000} \right) / \gamma_m$$

$f_{ctd,fl}$ = Diseño de resistencia a la tracción por flexión

Para $\gamma_c = 1.6$

Tabla 3.1: Resistencia a la tracción a flexión para diferentes clases de resistencia

h/f_{ck}	$f_{ctd,fl}$						
	20 MPa	25 MPa	28 MPa	30 MPa	32 MPa	40 MPa	42 MPa
150 mm	2.00	2.32	2.51	2.62	2.74	3.18	3.29
160 mm	1.99	2.31	2.49	2.61	2.72	3.16	3.26
170 mm	1.98	2.29	2.47	2.59	2.70	3.14	3.24
175 mm	1.97	2.28	2.46	2.58	2.69	3.13	3.23
180 mm	1.96	2.28	2.46	2.57	2.68	3.11	3.22
200 mm	1.93	2.24	2.42	2.53	2.65	3.07	3.17
225 mm	1.90	2.20	2.38	2.49	2.60	3.02	3.12
250 mm	1.87	2.16	2.33	2.44	2.55	2.96	3.06
275 mm	1.83	2.12	2.29	2.40	2.50	2.91	3.00
300 mm	1.80	2.08	2.25	2.35	2.46	2.85	2.95
325 mm	1.76	2.04	2.20	2.31	2.41	2.80	2.89
350 mm	1.73	2.00	2.16	2.26	2.36	2.74	2.83

4. Radio de rigidez relativa

Existen diferentes categorías de carga y cada una se define con el concepto de radio de rigidez relativa:

E_{cm} = Módulo de concreto elástico a corto plazo [MPa]

h = Espesor de losa [mm]

k = Módulo de reacción de subrasante $\left[\frac{\text{MPa}}{\text{mm}} \text{ o } \text{N/mm}^3\right]$

ν = Coeficiente de Poisson, tomado como 0.20 [–]

Tabla 4.1: Valores k típicos de la tercera edición TR34

Descripción del material	k [MPa/mm]	
	Valor inferior	Valor superior
Arena fina o ligeramente compactada	0.015	0.03
Arena bien compactada	0.05	0.10
Arena muy bien compactada	0.10	0.15
Suelo franco o arcilla (húmedo)	0.03	0.06
Suelo franco o arcilla (seco)	0.08	0.10
Arcilla con arena	0.08	0.10
Piedra triturada con arena	0.10	0.15
Piedra triturada gruesa	0.20	0.25
Piedra triturada bien compactada	0.20	0.30

5. Propiedades estructurales

5.1. Capacidad de momento negativo

El cálculo del primer nivel de la capacidad de momento para el espesor de una losa determinada se tratará como concreto simple para los momentos de arrufo de acuerdo con el TR34 usando la siguiente ecuación:

$$M_{un} = f_{ctd,fl} \left(\frac{h^2}{6} \right)$$

Tabla 5.1: Capacidades de momento negativo

h/f_{ctm}	<i>Capacidades de momento de concreto simple M_{un} [kNm/m]</i>						
	20 MPa	25 MPa	28 MPa	30 MPa	32 MPa	40 MPa	42 MPa
150 mm	7.51	8.72	9.40	9.84	10.28	11.92	12.32
160 mm	8.49	9.85	10.62	11.12	11.61	13.47	13.92
170 mm	9.52	11.04	11.91	12.47	13.02	15.11	15.60
175 mm	10.05	11.66	12.58	13.17	13.75	15.95	16.48
180 mm	10.59	12.29	13.26	13.88	14.49	16.82	17.37
200 mm	12.89	14.96	16.14	16.90	17.64	20.47	21.14
225 mm	16.03	18.60	20.06	21.00	21.93	25.44	26.28
250 mm	19.43	22.54	24.31	25.46	26.58	30.84	31.86
275 mm	23.07	26.77	28.87	30.23	31.56	36.62	37.84
300 mm	26.94	31.26	33.71	35.30	36.85	42.76	44.18
325 mm	31.01	35.98	38.81	40.63	42.42	49.22	50.85
350 mm	35.26	40.91	44.12	46.20	48.23	55.97	57.82

Cada carga se utiliza para derivar una resistencia a la tracción a flexión residual f_{Ri} :

$$f_R = 3f_R l / (2bh_{sp}^2)$$

Donde:

$$F_R = \text{Carga aplicada en la etapa } R$$

$l =$ El tramo de carga (500 mm)

Con referencia a RILEM TC 162-TDF (RILEM TC 162-TDF, 2003), la capacidad del momento se puede calcular calculando primero la resistencia a la tracción axial directa de la resistencia σ_{r1} residual en cada uno de los dos CMOD. Estos son σ_{r1} y σ_{r4} , que corresponden a un CMOD de 0.5 mm y 3.5 mm respectivamente es la prueba de viga con muescas. Se supone que las profundidades de grietas en este documento son 0.66 y 0.90 de la profundidad de la viga.

Luego se derivan las siguientes fórmulas:

$$\sigma_{r1} = 0.45 f_{R1}$$

$$\sigma_{r4} = 0.37 f_{R4}$$

Donde:

f_{R1} = La resistencia a la flexión residual a 0.5 mm de CMOD.

f_{R4} = La resistencia a la flexión residual a 3.5 mm de CMOD.

En la sección transversal del piso, en el estado límite último (ULS) se supone que el esfuerzo de tracción axial en la punta de la fisura es equivalente a σ_{r1} , y en la cara extrema a la tracción se asume que es σ_{r4} , con una distribución

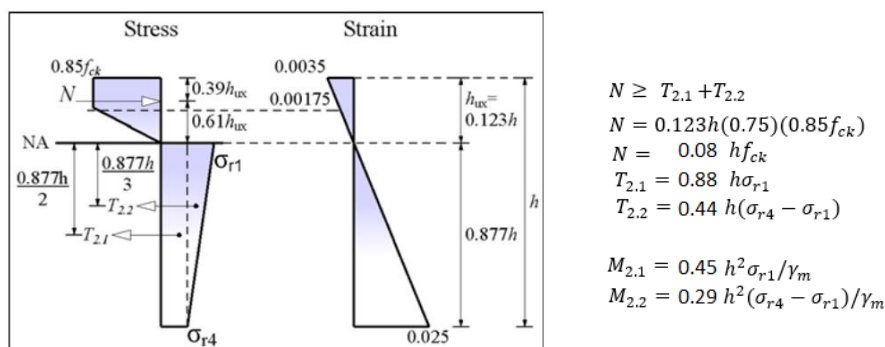


Figura 5.1: Bloque de esfuerzo para concreto reforzado con fibra

Usando el factor de seguridad γ_m la capacidad de momento de quebranto máximo (positiva) de una sección de concreto reforzado con fibra se puede calcular utilizando la fórmula simplificada a continuación:

$$M_{up} = \frac{h^2}{\gamma_m} (0.29\sigma_{r4} + 0.16\sigma_{r1})$$

6. Seleccionar cargas de diseño

Las cargas de diseño pueden actuar en varias zonas del piso y los diseñadores deben estar atentos a las zonas de carga definidas por el TR34. Se definen tres escenarios (ver Figura 6.1):

- Condición interna
- Condición del borde
- Condición de la esquina

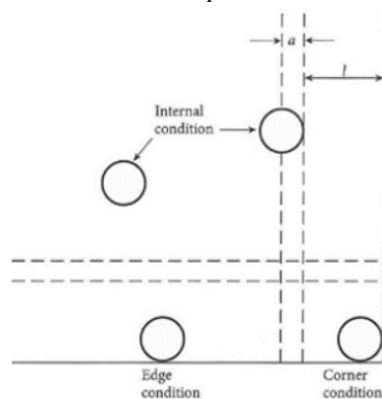


Figura 6.1: Definiciones de las condiciones de carga

6.1. Carga de punto único

El momento de flexión positivo inducido por una carga de un solo punto es radial y tiene su máximo directamente debajo de la carga. El punto de contraflexión (momento de flexión cero) se encuentra aproximadamente a una distancia radial $1.0l$ de la carga. El momento circunferencial negativo máximo está a una distancia radial aproximada de $2.0l$ de la carga. El momento se acerca a cero a una distancia radial aproximada de $3.0l$ de la carga.

Para determinar la característica de una carga puntual única definida por la relación de a/l donde:

a = Radio equivalente del área de contacto (en mm^2) basado en el área de contacto efectiva. A falta de datos debe utilizarse una dimensión efectiva de 100 mm x 100 mm.

$$r = \sqrt{[(d + 4t)^2 / \pi]}$$

Donde:

t = espesor de la placa base (mm)
 d = ancho del estante/columna (mm)

Una carga de un solo punto como:

- **Estante o columna de entrepiso**

Puede satisfacer la siguiente condición:

$$P^* \leq P_u$$

Donde:

P^* = Carga definitiva de diseño concentrada

P_u = Capacidad final bajo carga concentrada

El punto de carga puede actuar en varias zonas sobre la losa y las zonas se dividen en tres categorías principales: **carga interna, carga de borde y carga de esquina.**

■ Para la carga interna con:

$$a/l = 0: \quad P_{u, 0} = 2\pi (M_p + M_n)$$

$$a/l \geq 0.2: \quad P_{u, 0.2} = 4\pi (M_p + M_n)/[1 - (a/3l)]$$

■ Para la carga libre de borde con:

$$a/l = 0: \quad P_{u, 0} = [\pi(M_p + M_n)/2] + 2M_n$$

$$a/l \geq 0.2: \quad P_{u, 0.2} = [\pi(M_p + M_n) + 4M_n]/[1 - (2a/3l)]$$

■ Para la carga libre de esquina:

$$a/l = 0: \quad P_{u, 0} = 2M_n$$

$$a/l \geq 0.2: \quad P_{u, 0.2} = 4M_n/[1 - (a/l)]$$

Interpolar para valores de a/l entre 0 y 0.2

6.2. Carga de punto doble

Esta sección se aplica a cargas de dos puntos con un espacio de línea central "x" que tenga más del doble del espesor de la losa (2h). Si $x \leq 2h$, se tratarán como una carga agregada de un solo punto, que actúa sobre el área combinada. Las cargas duales deben tratarse como dos cargas de punto único cuando tienen un espacio en el centro de más de $x > 2h$.

Múltiples cargas puntuales como:

- Cargas de rueda de camión
- Múltiples racks de carga (seguidas)

Tendrá que satisfacer la siguiente condición:

$$P^o \leq P_u$$

■ Para carga interna con:

$$a/l = 0: \quad P_{u, 0} = [2\pi + (1.8x/l)] * [M_p + M_n]$$

$$a/l \geq 0.2: \quad P_{u, 0.2} = [4\pi/(1 - (a/3l) + 1.8x/(l - (a/2)))] * [M_p + M_n]$$

6.3. Carga de punto cuádruple

La capacidad de carga de punto cuádruple es la más pequeña de (1) la suma de 4 capacidades de carga de punto individual, (2) la suma de 2 capacidades de carga de punto doble o (3) por la capacidad de carga de punto cuádruple aproximada.

Cargas puntuales cuádruples como:

- Cargas de rueda de camión
- Múltiples racks de carga

Deberán cumplir la siguiente condición:

$$P^o \leq P_u$$

■ Para carga interna con:

$$a/l = 0: \quad P_{u, 0} = [2\pi + (1.8(x + y)/l)] * [M_p + M_n]$$

$$a/l \geq 0.2: \quad P_{u, 0.2} = [4\pi/(1 - (a/3l) + 1.8(x + y)/(l - (a/2)))] * [M_p + M_n]$$

Para carga de borde:

La cuarta edición del TR34 no tiene sugerencias para cargas puntuales cuádruples en el borde de la losa, ya que es poco probable que este arreglo de carga ocurra en la práctica.

Interpolar para valores de a/l entre 0 y 0.2.

7. Capacidad de corte por punzonamiento y soporte en tierra

7.1 Corte en la superficie del área de carga

La capacidad de corte por punzonamiento de la losa determinada por un mínimo de:

- Corte en la superficie del área de contacto u_0
- Corte en la distancia crítica del perímetro $2.0d$

Para determinar la capacidad de carga máxima en punzonado:

Capacidad de carga de punzonado máximo:

$$P_{p,max} = v_{max} u_0 d^* \quad v_{max} = 0.5 k_2 f_{cd} \quad k_2 = 0.6(1 - f_{ck}/250)$$

Donde:

$$P_{p,max} = \text{Capacidad de carga de punzonado máximo [kN]}$$

$$v_{max} = \text{Resistencia máxima al corte [MPa]}$$

$$u_0 = \text{Longitud del perímetro del área cargada [mm]}$$

$$d^* = \text{Profundidad efectiva de la losa } 0.75h \text{ para concreto reforzado con fibra [mm]}$$

Tabla 7.1: Resistencia al punzonamiento dependiendo de la resistencia a compresión

f_{ck}	20 MPa	25 MPa	28 MPa	30 MPa	32 MPa	40 MPa
v_{max}	3.5 MPa	4.2 MPa	4.7 MPa	5.0 MPa	5.2 MPa	6.3 MPa

7.2 Punzonamiento en el perímetro crítico

Capacidad de carga de perforación:

$$P_p = v_{Rd,c,min} u_l d^*$$

Esfuerzo de punzonamiento mínimo de concreto no reforzado:

$$v_{Rd,c,min} = 0.035 k_s^{1.5} f_{ck}^{0.5}$$

Donde:

$$k_s = 1 + (200/d^*)^{0.5} \leq 2.0$$

$$u_l = \text{Longitud del perímetro a una distancia } 2d \text{ del área cargada} = 4d^*\pi + 4(d + 4t) \\ \text{para una placa cuadrada } u_0, \text{ para placas base}$$

$$u_0 = \text{Longitud del perímetro del área cargada } 4(d + 4t) \text{ para placa cuadrada}$$

$$d^* = \text{Profundidad efectiva de la losa } 0.75h \text{ para concreto reforzado con fibra [mm]}$$

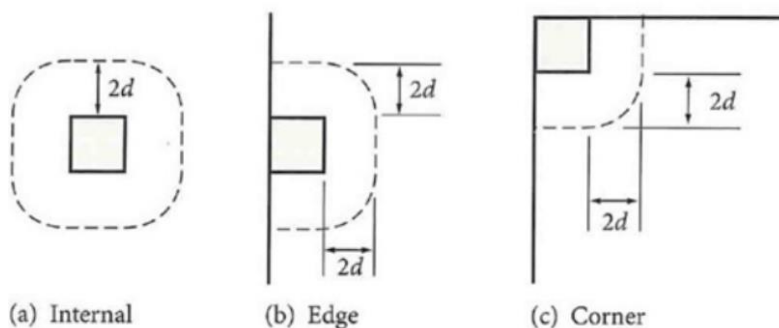


Figura 7.1: Perímetros críticos para el punzonamiento para cargas internas, de borde y de esquina

Tabla 7.2: Resistencia mínima al corte por punzonamiento del concreto no reforzado

h/f_{ck}	$v_{Rd,c,min} [MPa]$						
	20 MPa	25 MPa	28 MPa	30 MPa	32 MPa	40 MPa	42 MPa
150 mm	0.44	0.49	0.52	0.54	0.56	0.63	0.64
160 mm	0.44	0.49	0.52	0.54	0.56	0.63	0.64
170 mm	0.44	0.49	0.52	0.54	0.56	0.63	0.64
175 mm	0.44	0.49	0.52	0.54	0.56	0.63	0.64
180 mm	0.44	0.49	0.52	0.54	0.56	0.63	0.64
200 mm	0.44	0.49	0.52	0.54	0.56	0.63	0.64
225 mm	0.44	0.49	0.52	0.54	0.56	0.63	0.64
250 mm	0.44	0.49	0.52	0.54	0.56	0.63	0.64
275 mm	0.44	0.49	0.52	0.54	0.55	0.62	0.63
300 mm	0.42	0.47	0.50	0.52	0.54	0.60	0.61
325 mm	0.41	0.46	0.49	0.50	0.52	0.58	0.60
350 mm	0.40	0.45	0.47	0.49	0.51	0.57	0.58

La cuarta edición del TR34 establece que "no hay datos disponibles que demuestren que las fibras macrosintéticas ofrezcan una mejora de la capacidad de corte y, por lo tanto, no se debe suponer una mejora, y el cálculo se realiza utilizando parámetros **concreto simples** para la capacidad al corte en fibra macro sintética reforzada secciones".

7.3 Cargas aplicadas a través de rodamiento rígido

Esta sección solo es aplicable para cargas puntuales que se apliquen a través de un rodamiento rígido $a/l < 0.2$, lo que permite que una proporción de la carga en el perímetro de corte por punzamiento se aplique directamente al subsuelo y, por lo tanto, reduce la fuerza de diseño. En ausencia de un rodamiento rígido $a/l \geq 0.2$ se puede aplicar una reacción reducida.

- Para carga interna con un rodamiento rígido:

$$a/l < 0.2: \text{presión del terreno} \quad R_{cp} = 1.4 (d^*/l)^2 P + 0.47(x + y)(d^*P/l^2)$$

- En ausencia de un cojinete rígido:

$$a/l \geq 0.2: \text{presión del terreno} \quad R_{cp} = 1.4(d^*/l)^2 P$$

- Para la carga de borde con:

$$a/l < 0.2: \text{presión del terreno} \quad R_{cp} = 2.4(d^*/l)^2 P + 0.8(x + 2y)(d^*P/l^2)$$

- A falta de un rodamiento rígido:

$$a/l \geq 0.2: \text{presión del terreno} \quad R_{cp} = 2.4(d^*/l)^2 P$$

Donde:

P = Punto de carga

d^* = Profundidad efectiva

x, y = Dimensiones efectivas de la placa de rodamiento, donde x es la dimensión paralela al borde

l = Radio de rigidez relativa

A05.2: Procedimiento de cálculo del paquete estructural

A partir de un pre-diseño (peralte de losa y dosificación de fibras) se determina los esfuerzos admisibles de la estructura.

Luego, se determinan los esfuerzos actuantes debido a las cargas sobre el pavimento, los cambios de temperatura y los esfuerzos de retracción que están presentes en el concreto; en el caso de las cargas se verificará también si la carga es en el borde del paño, en la esquina o en el centro, considerando también si las juntas serán con dowels o no.

Estos esfuerzos actuantes son amplificados utilizando los factores de seguridad que estipule el código seleccionado para el diseño.

Finalmente, se compararán los esfuerzos actuantes con los admisibles por la estructura y se calcularán factores de seguridad que serán los que determinen la certeza del diseño recomendado.

El parámetro que caracteriza al tipo de subrasante es el módulo de reacción de la subrasante (k). Adicionalmente se contempla una mejora en el nivel de soporte de la subrasante con la colocación de capas intermedias granulares o tratadas, efecto que mejora las condiciones de apoyo y puede llegar a reducir el espesor calculado de concreto. Esta mejora se introduce con el módulo de reacción combinado (k_c).

Para el cálculo del CBR de diseño se determinará el coeficiente de reacción combinada k_c del cual combina el CBR del material de subrasante con el CBR del material granular.

Se calculará el diseño de la losa del concreto patrón, suponiendo estos datos de diseño:

1. Datos de diseño

Parámetros del suelo

CBR de diseño de la subrasante	$CBR :$	<u>5.00</u>	%
CBR de diseño del material de relleno granular	$CBR :$	<u>85.0</u>	%

Datos del concreto

Resistencia de compresión del concreto	$f_{ck} :$	<u>28.00</u>	MPa
Coeficiente de poisson	$\nu :$	<u>0.20</u>	
Resistencia a la tracción axial media	$f_{ctm} :$	<u>2.77</u>	MPa
Resistencia a la tracción a flexión	$f_{ctd,fl} :$	<u>2.27</u>	MPa
Módulo de elasticidad secante del concreto	$E_{cm} :$	<u>32,308</u>	MPa
Resistencia máxima al corte	ν_{max}	<u>4.97</u>	MPa

Datos de la losa

Espesor de losa	:	<u>37.00</u>	cm
Separación entre juntas (dirección X)	:	<u>750.0</u>	cm
Separación entre juntas (dirección Y)	:	<u>750.0</u>	cm
Transferencia de carga en el borde	α :	<u>45.0</u>	%
Transferencia de carga en la esquina	α :	<u>0.0</u>	%
Profundidad efectiva de la losa	d^* :	<u>27.75</u>	cm

Transferencia de cargas con dowel

Límite elástico del dowel	f_{yk} :	<u>250</u>	MPa
Diámetro	d_d :	<u>1½</u>	pulg
Factor de seguridad	γ_s :	<u>1.15</u>	

Datos de la losa reforzado con fibras

Tipo de fibra: Concreto patrón			
Dosificación de la fibra	:	<u>0.0</u>	kg/m ³
Resistencia residual a flexión para un CMOD 0.5	f_{R1} :	<u>3.51</u>	MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 1.5	f_{R2} :	<u>0.48</u>	MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 2.5	f_{R3} :	<u>0.00</u>	MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 3.5	f_{R4} :	<u>0.00</u>	MPa
Factor de seguridad	γ_c :	<u>1.50</u>	

Datos del vehículo de diseño

Presión de inflado de los neumáticos	:	<u>0.91</u>	MPa
Carga puntual en eje delantero	P_1 :	<u>478.6</u>	kN
Carga puntual en eje trasero	P_2 :	<u>109.9</u>	kN
Distancia entre centros de los neumáticos	x :	<u>350</u>	cm
	y :	<u>620</u>	cm
Factor de seguridad	γ_F :	<u>1.60</u>	

2. Resultados

2.1 Cálculo del módulo de reacción de subrasante

Para determinar el módulo de reacción de la subrasante la Administración Federal de Aviación (FAA) recomienda la siguiente correlación con el CBR, utilizando la siguiente expresión:

$$k = [(1500 \times CBR)/26]^{0.7788}$$

Donde:

k = Módulo de reacción de la subrasante, [psi/in]

CBR = Razón de soporte de California, [%]

Datos:

$$CBR_0 = 5.0\%$$

$$CBR_1 = 85.0\%$$

La presencia de la sub base granular o base granular, de calidad superior a la sub rasante, permite aumentar el coeficiente de reacción de diseño, en tal sentido se aplicará la siguiente ecuación:

$$k_c = [1 + (h/38)^2 (k_1/k_0)^{2/3}]^{0.5} \times k_0$$

Donde:

k_1 = Coeficiente de reacción de la subbase granular, [kg/cm³]

k_c = Coeficiente de reacción combinado, [kg/cm³]

k_0 = Coeficiente de reacción de la subrasante, [kg/cm³]

h = Espesor de la subbase granular, [cm]

Entonces:

$$k_c = 0.048 \text{ N/mm}^3$$

2.2 Cálculo del radio de rigidez relativa

El radio de rigidez relativa es la medida de rigidez de la elasticidad del concreto y la capacidad de la subrasante combinadas, según lo define Westergaard, utilizando la siguiente expresión:

$$l = \sqrt[4]{(E_{cm} h^3) / [12(1 - \nu^2)k]}$$

Donde:

E_{cm} = Módulo de reacción de la subrasante, [MPa]

ν = Coeficiente de poisson, [-]

Entonces:

$$l = 1,121 \text{ mm}$$

2.3 Área de contacto de carga

Las características del vehículo es la siguiente:

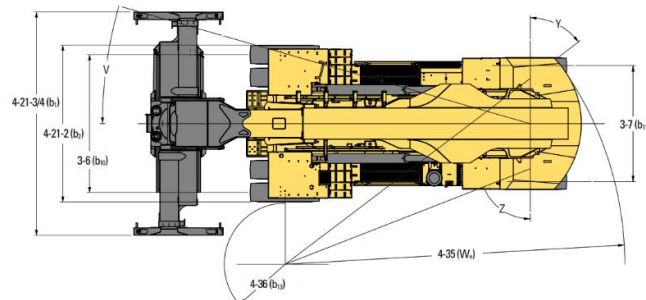


Figura N°2.1: Vehículo de diseño RS46-41S CH

Para determinar el radio de área de contacto a rigidez ver la siguiente expresión:

$$a = \sqrt{A/\pi} \quad A = x_0 y_0$$

Entonces:

$$a = 50.8 \text{ cm} \quad x_0 = 51.3 \text{ cm} \quad y_0 = 157.7 \text{ cm}$$

$$a/l = 0.620 \quad A = 8,095 \text{ cm}^2$$

2.4 Capacidades de momentos

Capacidad de momento positivo $M_p = h^2 / \gamma_m (0.29 \sigma_{r4} + 0.16 \sigma_{r1})$

$$M_p = 23.06 \text{ kNm/m}$$

Capacidad de momento negativo $M_{un} = f_{ctd,fl} (h^2 / 6)$

$$M_{un} = 51.8 \text{ kNm/m}$$

2.5 Capacidad a flexión en estado límite último (ELU)

Carga de un solo punto

- Para carga interna:

$$a/l = 0 \quad P_{u,0} = 2\pi(M_p + M_n)$$

$$P_{u,0} = 470.1 \text{ kN}$$

$$a/l \geq 0.2 \quad P_{u,0.2} = 4\pi(M_p + M_n) / [1 - (a/3l)]$$

$$P_{u,0.2} = 1,079.5 \text{ kN}$$

Interpolación para $a/l = 0.387$

$$P_{u,0.387} = 1,079.5 \text{ kN} > P_d = 765.8 \text{ kN}$$

- Para carga de borde libre

$$a/l = 0 \quad P_{u,0} = [\pi(M_p + M_n)/2] + 2M_n$$

$$P_{u,0} = 221.0 \text{ kN}$$

$$P_{u,0.2} = [\pi(M_p + M_n) + 4M_n]/[1 - (2a/3l)]$$

$$a/l \geq 0.2$$

$$P_{u,0.2} = 595.8 \text{ kN}$$

Interpolación para $a/l = 0.387$

$$P_{u,0.387} = 595.8 \text{ kN} > P_d = 421.2 \text{ kN}$$

- Para carga de esquina libre

$$a/l = 0$$

$$P_{u,0} = 2M_n$$

$$P_{u,0} = 103.5 \text{ kN}$$

$$a/l \geq 0.2$$

$$P_{u,0.2} = 4M_n/[1 - (a/l)]$$

$$P_{u,0.2} = 337.7 \text{ kN}$$

Interpolación para $a/l = 0.387$

$$P_{u,0.387} = 337.7 \text{ kN} \nless P_d = 765.8 \text{ kN}$$

Carga doble punto

- Para carga interna:

$$a/l = 0$$

$$P_{u,0} = [2\pi + (1.8x/l)][M_p + M_n]$$

$$P_{u,0} = 829.5 \text{ kN}$$

$$a/l \geq 0.2$$

$$P_{u,0.2} = [4\pi/(1 - (a/3l) + 1.8x/(l - (a/2)))] [M_p + M_n]$$

$$P_{u,0.2} = 1,521.1 \text{ kN}$$

Interpolación para $a/l = 0.387$

$$P_{u,0.387} = 1,525.1 \text{ kN} > \Sigma P_d = 1,531.5 \text{ kN}$$

- Para carga de borde libre

$$a/l = 0$$

$$P_{u,0} = 2\pi(M_p + M_n)$$

$$P_{u,0} = 470.1 \text{ kN}$$

$$a/l \geq 0.2$$

$$P_{u,0.2} = 4\pi(M_p + M_n)/[1 - (a/3l)]$$

$$P_{u,0.2} = 1,079.5 \text{ kN}$$

Interpolación para $a/l = 0.387$

$$P_{u,0.387} = 1,079.5 \text{ kN}$$

- Para carga de un punto único en carga de borde

$$a/l = 0$$

$$P_{u,0} = [\pi(M_p + M_n)/2] + 2M_n$$

$$P_{u,0} = 221.0 \text{ kN}$$

$$a/l \geq 0.2$$

$$P_{u,0.2} = [\pi(M_p + M_n) + 4M_n]/[1 - (2a/3l)]$$

$$P_{u,0.2} = 595.8 \text{ kN}$$

Interpolación para $a/l = 0.387$

$$P_{u,0.387} = 595.8 \text{ kN}$$

Factor multiplicador

$$mf = 0.55$$

Capacidad de carga de doble punto para carga de borde

$$P_u = 841.7 \text{ kN} > \Sigma P_d = 842.3 \text{ kN}$$

Carga de puntos cuádruples

- Para carga interna:

$$a/l = 0$$

$$P_{u,0} = [2\pi + 1.8(x + y)/l][M_p + M_n]$$

$$P_{u,0} = 1,466.1 \text{ kN}$$

$$a/l \geq 0.2$$

$$P_{u,0.2} = \left[4\pi / \left(1 - \left(\frac{a}{3l} \right) + \frac{1.8(x + y)}{\left(l - \left(\frac{a}{2} \right) \right)} \right) \right] [M_p + M_n]$$

$$P_{u,0.2} = 2,314.5 \text{ kN}$$

Interpolación para $a/l = 0.387$

$$P_{u,0.387} = 2,314.5 \text{ kN}$$

- Para capacidad de carga de punto único (4x)

$$a/l = 0$$

$$P_{u,0} = 8\pi(M_p + M_n)$$

$$P_{u,0} = 1,880.5 \text{ kN}$$

$$a/l \geq 0.2$$

$$P_{u,0.2} = 16\pi(M_p + M_n)/[1 - (a/3l)]$$

$$P_{u,0.2} = 4,317.9 \text{ kN}$$

Interpolación para $a/l = 0.387$

$$P_{u,0.387} = 4,317.9 \text{ kN}$$

- Para capacidad de carga de punto único (2x)

$$a/l = 0$$

$$P_{u,0} = 2[2\pi + (1.8x)/l][M_p + M_n]$$

$$P_{u,0} = 1,659.0 \text{ kN}$$

$$a/l \geq 0.2$$

$$P_{u,0.2} = 2 \left[4\pi / \left(1 - \frac{a}{3l} + \frac{1.8x}{l - a/2} \right) \right] / [M_p + M_n]$$

$$P_{u,0.2} = 3,050.2 \text{ kN}$$

Interpolación para $a/l = 0.387$

$$P_{u,0.387} = 3,050.2 \text{ kN}$$

Capacidad de carga de cuádruple punto para carga de borde

$$P_{u,min} = 2,314.5 \text{ kN} > \Sigma P_d = 1,883.2 \text{ kN}$$

2.6 Capacidad al corte por punzonamiento

Cortante en el perímetro crítico

- Para carga interna:

Longitud del perímetro cargado

$$u_0 = 2(x_0 + y_0)$$

$$u_0 = 4,180 \text{ mm}$$

Capacidad de carga por punzonamiento máxima

$$P_{p,max} = v_{max} u_0 d^*$$

$$P_{p,max} = 5,768.9 \text{ kN}$$

Esfuerzo de punzonamiento mínimo del concreto (no reforzado)

$$v_{Rd,c,min} = 0.035 k_s^{1.5} f_{ck}^{0.5}$$

$$v_{Rd,c,min} = 0.47 \text{ MPa}$$

Longitud de perímetro crítico

$$u_1 = 4d^* \pi + 2(x_0 + y_0)$$

$$u_1 = 7,668 \text{ mm}$$

Aumento de capacidad de corte EN 14641

$$v_f = 0.015(f_{R1} + f_{R2} + f_{R3} + f_{R4})$$

$$v_f = 0.06 \text{ MPa}$$

Capacidad de carga de punzonamiento (no reforzado)

$$P_p = (v_{Rd,c,min} + v_f) u_1 d^*$$

$$P_p = 1,118.1 \text{ kN}$$

Entonces

$$\text{Min}[P_{p,max}, P_p] = 1,118.1 \text{ kN}$$

- Para carga en borde:

Longitud del perímetro cargado

$$u_0 = 2x_0 + y_0$$
$$u_0 = 2,604 \text{ mm}$$

Capacidad de carga por punzonamiento máxima

$$P_{p,max} = v_{max}u_0d^*$$
$$P_{p,max} = 3,592.8 \text{ kN}$$

Esfuerzo de punzonamiento mínimo del concreto (no reforzado)

$$v_{Rd,c,min} = 0.035k_s^{1.5}f_{ck}^{0.5}$$
$$v_{Rd,c,min} = 0.47 \text{ MPa}$$

Longitud de perímetro crítico

$$u_1 = 2d^*\pi + 2x_0 + y_0$$
$$u_1 = 4,347 \text{ mm}$$

Aumento de capacidad de corte EN 14641

$$v_f = 0.015(f_{R1} + f_{R2} + f_{R3} + f_{R4})$$
$$v_f = 0.06 \text{ MPa}$$

Capacidad de carga de punzonamiento (no reforzado)

$$P_p = (v_{Rd,c,min} + v_f)u_1d^*$$
$$P_p = 633.9 \text{ kN}$$

Entonces

$$\text{Min}[P_{p,max}, P_p] = 633.9 \text{ kN}$$

- Para carga en esquina:

Longitud del perímetro cargado

$$u_0 = x_0 + y_0$$
$$u_0 = 2,090 \text{ mm}$$

Capacidad de carga por punzonamiento máxima

$$P_{p,max} = v_{max}u_0d^*$$
$$P_{p,max} = 2,884.4 \text{ kN}$$

Esfuerzo de punzonamiento mínimo del concreto (no reforzado)

$$v_{Rd,c,min} = 0.035k_s^{1.5}f_{ck}^{0.5}$$

$$v_{Rd,c,min} = 0.47 MPa$$

Longitud de perímetro crítico

$$u_1 = d^* \pi + x_0 + y_0$$

$$u_1 = 2,962 mm$$

Aumento de capacidad de corte EN 14641

$$v_f = 0.015(f_{R1} + f_{R2} + f_{R3} + f_{R4})$$

$$v_f = 0.06 MPa$$

Capacidad de carga de punzonamiento (no reforzado)

$$P_p = (v_{Rd,c,min} + v_f)u_1 d^*$$

$$P_p = 431.9 kN$$

Entonces

$$\text{Min}[P_{p,max}, P_p] = 431.9 kN$$

- Efecto de soporte del terreno ($a/l < 0.2$)

Reacción efectiva de profundidad a rigidez

$$d^*/l = 0.21$$

Carga última requerida

$$P_d = P'_d - R_{cp}$$

$$P'_d = \Sigma \gamma_{Fi} P_i (1 - \alpha/100)$$

Para carga interna

° Reacción del terreno

$$P'_d = 765.8 kN \quad R_{cp} = 1.4(d^*/l)^2 P_d$$

$$R_{cp} = 1.4(d^*/l)^2 P'_d + 0.47(x_0 + y_0)(d^* P'_d / l^2)$$

$$R_{cp} = 48.2 kN$$

$$P_d = 717.6 kN < P_p = 1,118.1 kN$$

Para carga de borde

° Reacción del terreno

$$P'_d = 421.2 kN \quad R_{cp} = 2.4(d^*/l)^2 P_d$$

$$R_{cp} = 2.4(d^*/l)^2 P'_d + 0.80(x_0 + 2y_0)(d^* P'_d / l^2)$$

$$R_{cp} = 45.4 kN$$

$$P_d = 375.7 kN < P_p = 633.9 kN$$

Para carga de esquina

$$\begin{aligned} \circ \text{ Reacción del terreno} \quad P'_d &= 765.8 \text{ kN} \quad R_{cp} = 2.9(d^*/l)^2 P_d \\ R_{cp} &= 2.9(d^*/l)^2 P'_d + 1.9(x_0 + 2y_0)(d^* P'_d / l^2) \\ R_{cp} &= 99.8 \text{ kN} \\ P_d &= 666.0 \text{ kN} \nless P_p = 431.9 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Tabla de resumen de resultados

Para la evaluación de los costos de fabricación de cada tipo de mezcla de concreto de estudio, solo se modificó el peralte de losa y los resultados de resistencia residual a flexión. Se verificó que los resultados del FS del concreto tradicional sea similar a los FS de las mezclas de concretos fibroreforzados.

3.1 Resultados del factor de seguridad de la losa reforzada con acero tradicional

Dosificación de la fibra	:	<u>0.0</u>	kg/m ³
Resistencia residual a flexión para un CMOD 0.5	f_{R1} :	<u>3.51</u>	MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 1.5	f_{R2} :	<u>0.48</u>	MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 2.5	f_{R3} :	<u>0.00</u>	MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 3.5	f_{R4} :	<u>0.00</u>	MPa
Peralte de losa	h :	<u>37</u>	cm
Transferencia de carga en el borde	:	<u>45</u>	%

Tabla N°3.1: Verificación por flexión

Nombre de carga	Tipo	Interior	Borde	Esquina
VEHÍCULO RS46-41S CH	Carga puntual simple	0.71	0.71	2.27
	Carga de puntos dobles	1.00	1.00	N.P.
	Carga de puntos cuádruples	0.81	N.P.	N.P.

Nota: El factor de seguridad global en cada posición de carga deberá ser menor a 1.0

Tabla N°3.2: Verificación por punzonamiento

Nombre de carga	Tipo	Interior	Borde	Esquina
VEHÍCULO RS46-41S CH	Cortante en el perímetro de área cargada	0.13	0.12	0.27
	Cortante en el perímetro crítico	0.64	0.59	1.54

Nota: El factor de seguridad global en cada posición de carga deberá ser menor a 1.0

Si el FS de carga excede la unidad, se deberá de aumentar el peralte de losa o aumentar la dosificación de fibra. De los datos obtenidos, se tendría que aumentar la altura de la losa en las esquinas, puesto que exceden la unidad. Se deberá recalcular el diseño hasta que el FS sea menor o igual a 1.

3.2 Resultados del factor de seguridad de la losa reforzado con fibra FF1-30

Dosificación de la fibra de acero	:	<u>30</u>	kg/m ³
Resistencia residual a flexión para un CMOD 0.5	f_{R1} :	<u>3.70</u>	MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 1.5	f_{R2} :	<u>4.29</u>	MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 2.5	f_{R3} :	<u>4.32</u>	MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 3.5	f_{R4} :	<u>4.04</u>	MPa
Peralte de losa	h :	<u>30</u>	cm

Tabla N°3.3: Verificación por flexión

Nombre de carga	Tipo	Interior	Borde	Esquina
VEHÍCULO RS46-41S CH	Carga puntual simple	0.66	0.76	2.91
	Carga de puntos dobles	0.89	1.00	N.P.
	Carga puntal dual	0.69	N.P.	N.P.

Nota: El factor de seguridad global en cada posición de carga deberá ser menor a 1.0

Tabla N°3.4: Verificación por punzonamiento

Nombre de carga	Tipo	Interior	Borde	Esquina
VEHÍCULO RS46-41S CH	Cortante en el perímetro de área cargada	0.16	0.14	0.33
	Cortante en el perímetro crítico	0.61	0.56	1.14

Nota: El factor de seguridad global en cada posición de carga deberá ser menor a 1.0

3.3 Resultados del factor de seguridad de la losa reforzado con fibra FF4-20

Dosificación de la fibra	:	<u>20</u>	kg/m ³
Resistencia residual a flexión para un CMOD 0.5	f_{R1} :	<u>3.66</u>	MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 1.5	f_{R2} :	<u>4.10</u>	MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 2.5	f_{R3} :	<u>4.23</u>	MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 3.5	f_{R4} :	<u>4.24</u>	MPa
Peralte de losa	h :	<u>30</u>	cm

Tabla N°3.5: Verificación por flexión

Nombre de carga	Tipo	Interior	Borde	Esquina
VEHÍCULO RS46-41S CH	Carga puntual simple	0.65	0.75	2.91
	Carga de puntos dobles	0.87	1.00	N.P.
	Carga puntal dual	0.68	N.P.	N.P.

Nota: El factor de seguridad global en cada posición de carga deberá ser menor a 1.0

Tabla N°3.6: Verificación por punzonamiento

Nombre de carga	Tipo	Interior	Borde	Esquina
VEHÍCULO RS46-41S CH	Cortante en el perímetro de área cargada	0.16	0.14	0.33
	Cortante en el perímetro crítico	0.62	0.56	1.44

Nota: El factor de seguridad global en cada posición de carga deberá ser menor a 1.0

3.4 Resultados del factor de seguridad de la losa reforzado con fibra STX-7

Dosificación de la fibra macrosintética	:	<u>7</u>	kg/m ³
Resistencia residual a flexión para un CMOD 0.5	f_{R1} :	<u>4.02</u>	MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 1.5	f_{R2} :	<u>4.62</u>	MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 2.5	f_{R3} :	<u>4.67</u>	MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 3.5	f_{R4} :	<u>4.33</u>	MPa
Peralte de losa	h :	<u>30</u>	cm

Tabla N°3.7: Verificación por flexión

Nombre de carga	Tipo	Interior	Borde	Esquina
VEHÍCULO RS46-41S CH	Carga puntual simple	0.64	0.74	2.91
	Carga de puntos dobles	0.85	0.98	N.P.
	Carga puntal dual	0.66	N.P.	N.P.

Nota: El factor de seguridad global en cada posición de carga deberá ser menor a 1.0

Tabla N°3.8: Verificación por punzonamiento

Nombre de carga	Tipo	Interior	Borde	Esquina
VEHÍCULO RS46-41S CH	Cortante en el perímetro de área cargada	0.16	0.14	0.33
	Cortante en el perímetro crítico	0.60	0.55	1.40

Nota: El factor de seguridad global en cada posición de carga deberá ser menor a 1.0

3.5 Resultados del factor de seguridad de la losa reforzado con fibra FMS-7

Dosificación de la fibra macrosintética	:	<u>7</u> kg/m ³
Resistencia residual a flexión para un CMOD 0.5	f_{R1} :	<u>4.15</u> MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 1.5	f_{R2} :	<u>4.71</u> MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 2.5	f_{R3} :	<u>4.90</u> MPa
Resistencia residual a flexión para un CMOD 3.5	f_{R4} :	<u>4.93</u> MPa
Peralte de losa	h :	<u>30</u> cm

Tabla N°3.9: Verificación por flexión

Nombre de carga	Tipo	Interior	Borde	Esquina
VEHÍCULO RS46-41S CH	Carga puntual simple	0.60	0.71	2.91
	Carga de puntos dobles	0.81	0.95	N.P.
	Carga puntal dual	0.63	N.P.	N.P.

Nota: El factor de seguridad global en cada posición de carga deberá ser menor a 1.0

Tabla N°3.10: Verificación por punzonamiento

Nombre de carga	Tipo	Interior	Borde	Esquina
VEHÍCULO RS46-41S CH	Cortante en el perímetro de área cargada	0.16	0.14	0.33
	Cortante en el perímetro crítico	0.59	0.54	1.37

Nota: El factor de seguridad global en cada posición de carga deberá ser menor a 1.0

A05.3: Propuesta técnica de la losa industrial

Para el análisis del costo, se escogieron las mezclas cuyos resultados de su diseño estructural obtuvieron un factor de seguridad cercano a la unidad.

1. Propuesta técnica para el concreto con refuerzo de acero tradicional

El diseño de losas industriales para el concreto patrón (sin fibras) será:

- Características de la losa

Espesor de losa:	370 mm
Resistencia a compresión del concreto:	280 kg/cm ²
Acero por temperatura ($\rho = 0.39\%$):	1,449 mm ² /m
Acero $f_y = 4200$ kg/cm ²	$\phi 5/8'' @ 0.15m$,

- Características de la junta

Diámetro del dowel:	1½"
Espaciamiento en juntas de contracción:	750 x 750 cm
Dowels en juntas de construcción:	L=51cm, @38cm

2. Propuesta técnica para el concreto con fibra de acero FF1-30

- Características de la losa

Espesor de losa:	300 mm
Resistencia a compresión del concreto:	280 kg/cm ²
Tipo de fibra	Wirand FF1
Dosificación de fibra	30 kg/m ³

- Características de la junta

Diámetro del dowel:	1½"
Espaciamiento en juntas de contracción:	750 x 750 cm
Dowels en juntas de construcción:	L=51cm, @45cm

3. Propuesta técnica para el concreto con fibra de acero FF4-20

- Características de la losa

Espesor de losa:	300 mm
Resistencia a compresión del concreto:	280 kg/cm ²
Tipo de fibra	Wirand FF4
Dosificación de fibra	20 kg/m ³

- Características de la junta

Diámetro del dowel:	1½"
Espaciamiento en juntas de contracción:	750 x 750 cm
Dowels en juntas de construcción:	L=51cm, @45cm

4. Propuesta técnica para el concreto con macrofibra STX-7

- Características de la losa

Espesor de losa:	300 mm
Resistencia a compresión del concreto:	280 kg/cm ²
Tipo de fibra	Synthex
Dosificación de fibra	7 kg/m ³

- Características de la junta

Diámetro del dowel:	1½"
Espaciamiento en juntas de contracción:	750 x 750 cm
Dowels en juntas de construcción:	L=51cm, @45cm

5. Propuesta técnica para el concreto con macrofibra FMS-7

- Características de la losa

Espesor de losa:	300 mm
Resistencia a compresión del concreto:	280 kg/cm ²
Tipo de fibra	FiberMesh650s
Dosificación de fibra	7 kg/m ³

- Características de la junta

Diámetro del dowel:	1½"
Espaciamiento en juntas de contracción:	750 x 750 cm
Dowels en juntas de construcción:	L=51cm, @45cm

Anexo 06: Plano de diseño de la losa fibroreforzada

Para la evaluación del costo de fabricación de losas industriales se simuló la construcción de un pavimento rígido en una planta de almacenamiento de contenedores de 20 pies ubicado en el Callao-Callao-Perú.

En la Figura 1.1 se detalla las dimensiones de la losa en metros lineales y en el Figura 1.2 los detalles de juntas de las losas del concreto patrón.

Figura 1.1: Plano en planta de la losa industrial típico para todos los diseños

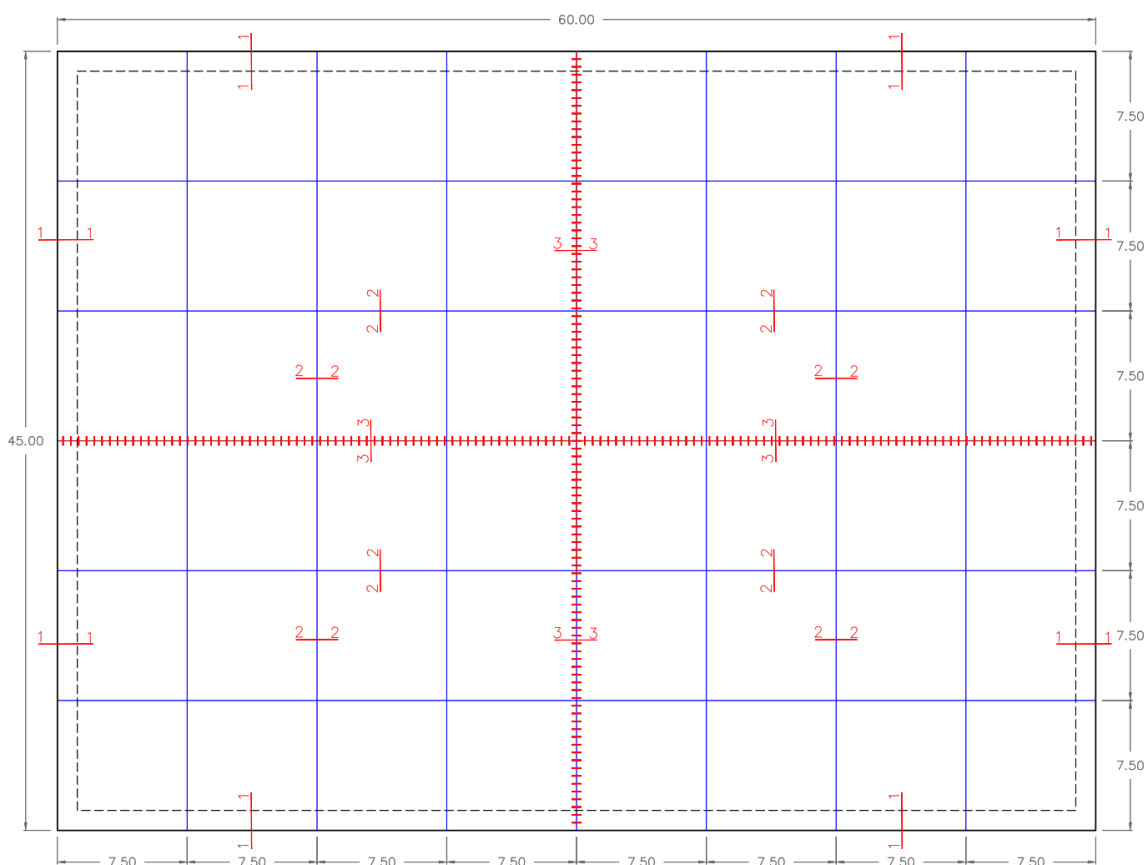
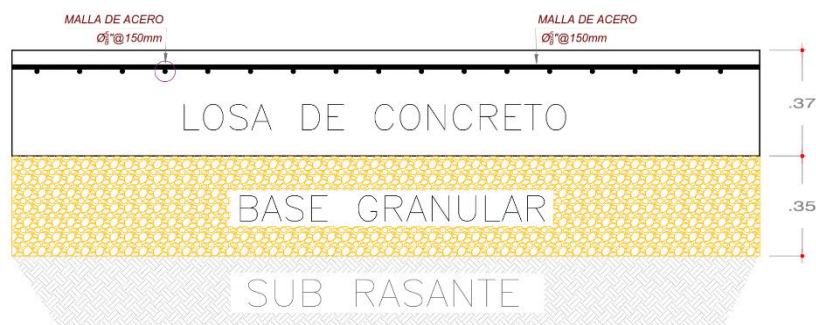
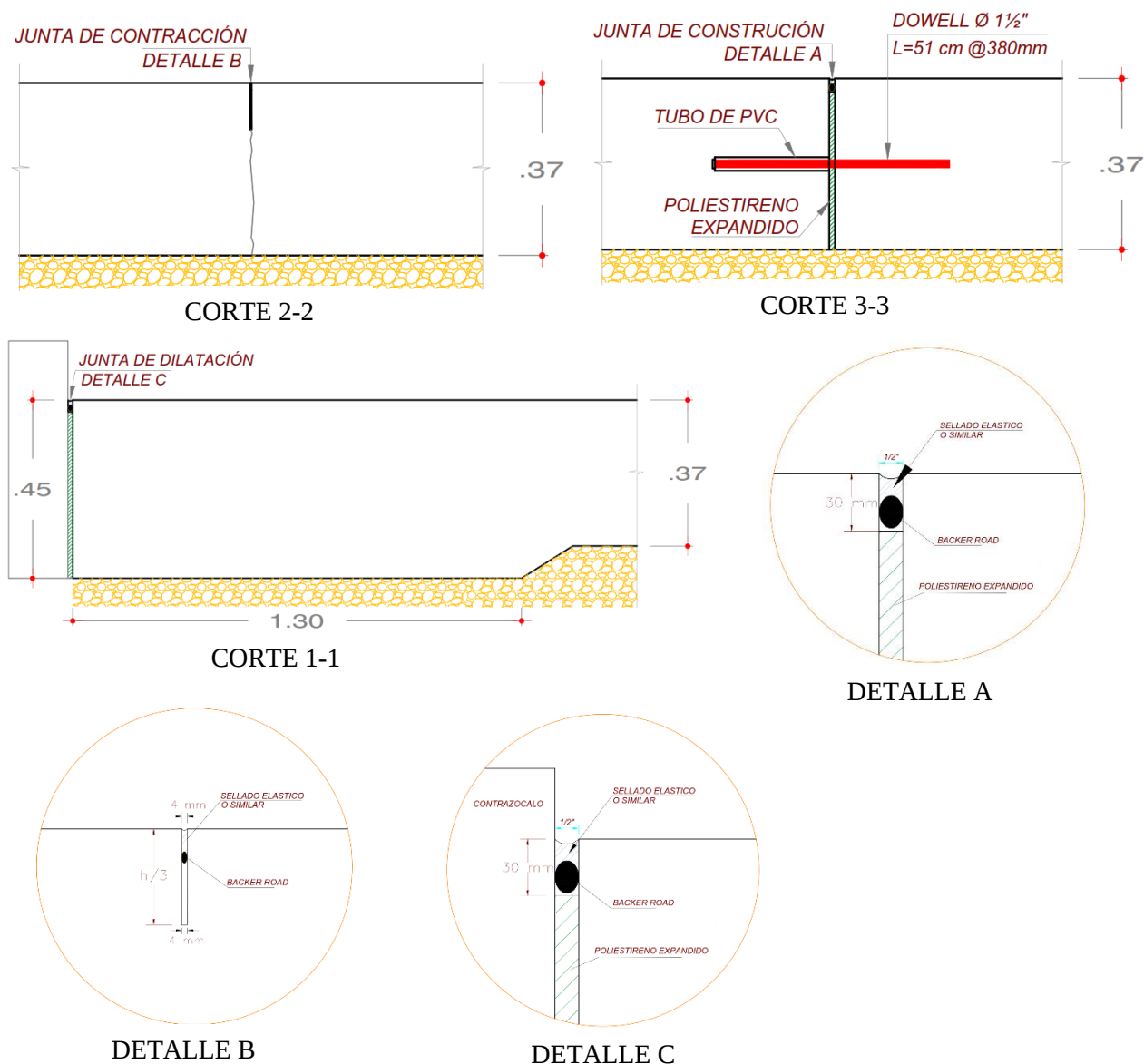


Figura 1.2: Detalles del corte de losa para la mezcla del concreto patrón (CP).



CORTE TÍPICO

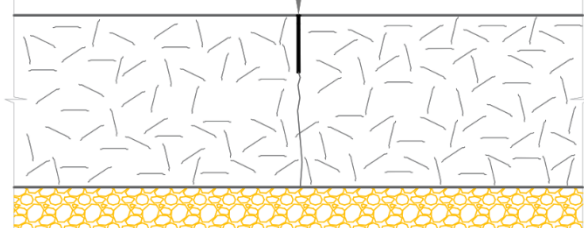


En la Figura 1.3 se ilustra los detalles de juntas de las losas fibroreforzadas.

Figura 1.3: Detalles del corte de losa para las mezclas de concreto con fibras acero y de concreto con fibras macrosintéticas.

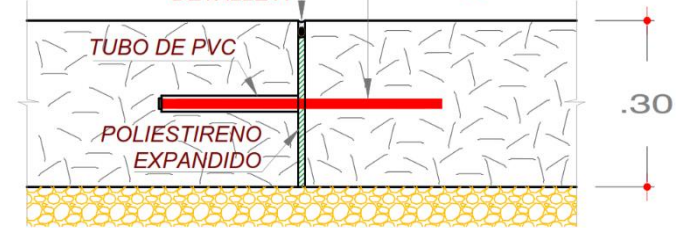


JUNTA DE CONTRACCIÓN
DETALLE B



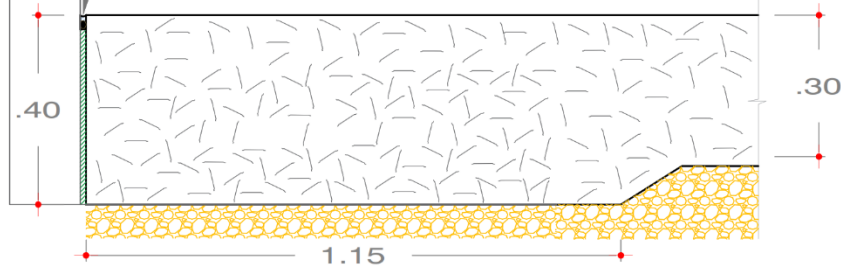
CORTE 2-2

JUNTA DE CONSTRUCCIÓN
DETALLE A

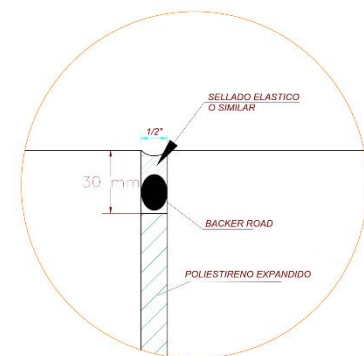


CORTE 3-3

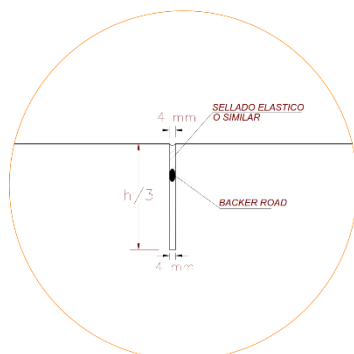
JUNTA DE DILATACIÓN
DETALLE C



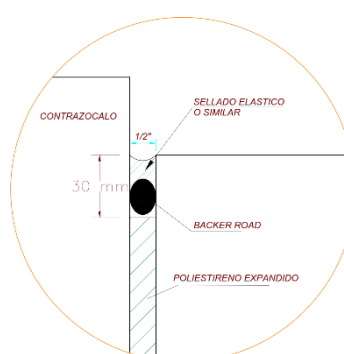
CORTE 1-1



DETALLE A



DETALLE B



DETALLE C

Anexo 07: Costos y presupuestos de las mezclas del concreto de estudio

A07.1: Formato de presupuesto para losa con refuerzo tradicional

ITEM	PARTIDAS	UND	METRADO	PU (\$)	TOTAL (\$)
1	LOSA INDUSTRIAL CON REFUERZO TRADICIONAL				339,039.80
1.1	OBRAS PRELIMINARES				11,750.00
1.1.1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN, INSTALACIÓN, MATENIMIENTO Y RETIRO	GLB	1.00	5,000.00	5,000.00
1.1.2	TRAZO Y REPLANTEO	M ²	2,700.00	2.50	6,750.00
1.2	OBRAS CIVILES				
1.2.2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				68,562.08
1.2.2.1	EXCAVACION MASIVA HASTA NIVEL SUBRASANTE (INCLUYE ELIMINACIÓN)	M ³	1,944.00	18.84	36,618.89
1.2.2.2	COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE	M ²	2,700.00	1.81	4,876.14
1.2.2.3	BASE GRANULAR COMPACTADA	M ³	923.70	29.30	27,067.05
1.2.3	OBRAS DE CONCRETO/ O ASFALTO				258,727.72
1.2.3.1	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSAS DE CONCRETO	M	315.00	9.40	2,961.00
1.2.3.2	DOWELLS EN JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN	UND	275.00	10.42	2,865.45
1.2.3.3	ACERO CORRUGADO FY=4,200 KG/CM ²	KG	52,768.00	1.98	104,480.64
1.2.3.4	PAVIMENTO DE CONCRETO PREMEZCLADO, f _c =280kg/cm ² a 7 días, CEMENTO TIPO HS (INCLUYE BOMBA DE CONCRETO)	M ³	1,020.30	140.65	143,506.93
1.2.3.5	JUNTAS DE CONTRACCIÓN: CORTE Y SELLADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	M	510.00	5.62	2,866.20
1.2.3.6	JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y DILATACIÓN: TEKNOPOP Y SELLO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	M	315.00	6.50	2,047.50

A07.2: Formato de presupuesto para losa reforzado con fibra de acero FF1-30

ITEM	PARTIDAS	UND	METRADO	PU (\$)	TOTAL (\$)
1	LOSA INDUSTRIAL CON ADICIÓN DE FIBRAS				243,296.48
1.1	OBRAS PRELIMINARES				11,750.00
1.1.1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN, INSTALACIÓN, MATENIMIENTO Y RETIRO	GLB	1.00	5,000.00	5,000.00
1.1.2	TRAZO Y REPLANTEO	M ²	2,700.00	2.50	6,750.00
1.2	OBRAS CIVILES				
1.2.2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				64,933.88
1.2.2.1	EXCAVACION MASIVA HASTA NIVEL SUBRASANTE (INCLUYE ELIMINACIÓN)	M ³	1,755.00	18.84	33,058.72
1.2.2.2	COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE	M ²	2,700.00	1.81	4,876.14
1.2.2.3	BASE GRANULAR COMPACTADA	M ³	921.38	29.30	26,999.02
1.2.3	OBRAS DE CONCRETO/ O ASFALTO				166,612.60
1.2.3.1	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSAS DE CONCRETO	M	315.00	7.99	2,517.65
1.2.3.2	DOWELLS EN JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN	UND	233.00	10.42	2,427.82
1.2.3.3	SUMINISTRO DE FIBRA DE ACERO FF1 (30 kg/m3)	kg	25,008.63	1.93	48,256.15
1.2.3.4	PAVIMENTO DE CONCRETO PREMEZCLADO, f _c =280kg/cm ² a 7 días, CEMENTO TIPO HS	M ³	833.62	130.15	108,497.28
1.2.3.5	JUNTAS DE CONTRACCIÓN: CORTE Y SELLADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	M	510.00	5.62	2,866.20
1.2.3.6	JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y DILATACIÓN: TEKNOPOP Y SELLO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	M	315.00	6.50	2,047.50

A07.3: Formato de presupuesto para losa reforzada con fibra de acero FF4-20

ITEM	PARTIDAS	UND	METRADO	PU (\$)	TOTAL (\$)
1	LOSA INDUSTRIAL CON ADICIÓN DE FIBRAS				227,211.09
1.1	OBRAS PRELIMINARES				11,750.00
1.1.1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN, INSTALACIÓN, MATENIMIENTO Y RETIRO	GLB	1.00	5,000.00	5,000.00
1.1.2	TRAZO Y REPLANTEO	M ²	2,700.00	2.50	6,750.00
1.2	OBRAS CIVILES				
1.2.2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				64,933.88
1.2.2.1	EXCAVACION MASIVA HASTA NIVEL SUBRASANTE (INCLUYE ELIMINACIÓN)	M ³	1,755.00	18.84	33,058.72
1.2.2.2	COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE	M ²	2,700.00	1.81	4,876.14
1.2.2.3	BASE GRANULAR COMPACTADA	M ³	921.38	29.30	26,999.02
1.2.3	OBRAS DE CONCRETO/ O ASFALTO			0.00	150,527.22
1.2.3.1	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSAS DE CONCRETO	M	315.00	7.99	2,517.65
1.2.3.2	DOWELLS EN JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN	UND	233.00	10.42	2,427.82
1.2.3.3	SUMINISTRO DE FIBRA DE ACERO FF4 (20 kg/m3)	kg	16,672.42	1.93	32,170.77
1.2.3.4	PAVIMENTO DE CONCRETO PREMEZCLADO, f'c=280kg/cm2 a 7 días, CEMENTO TIPO HS	M ³	833.62	130.15	108,497.28
1.2.3.5	JUNTAS DE CONTRACCIÓN: CORTE Y SELLADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	M	510.00	5.62	2,866.20
1.2.3.6	JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y DILATACIÓN: TEKNOPOR Y SELLO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	M	315.00	6.50	2,047.50

A07.4: Formato de presupuesto para losa reforzada con fibra macrosintética STX-7

ITEM	PARTIDAS	UND	METRADO	PU (\$)	TOTAL (\$)
1	LOSA INDUSTRIAL CON ADICIÓN DE FIBRAS				227,438.64
1.1	OBRAS PRELIMINARES				11,750.00
1.1.1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN, INSTALACIÓN, MATENIMIENTO Y RETIRO	GLB	1.00	5,000.00	5,000.00
1.1.2	TRAZO Y REPLANTEO	M ²	2,700.00	2.50	6,750.00
1.2	OBRAS CIVILES				
1.2.2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				64,933.88
1.2.2.1	EXCAVACION MASIVA HASTA NIVEL SUBRASANTE (INCLUYE ELIMINACIÓN)	M ³	1,755.00	18.84	33,058.72
1.2.2.2	COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE	M ²	2,700.00	1.81	4,876.14
1.2.2.3	BASE GRANULAR COMPACTADA	M ³	921.38	29.30	26,999.02
1.2.3	OBRAS DE CONCRETO/ O ASFALTO			0.00	150,754.76
1.2.3.1	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSAS DE CONCRETO	M	315.00	7.99	2,517.65
1.2.3.2	DOWELLS EN JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN	UND	233.00	10.42	2,427.82
1.2.3.3	SUMINISTRO DE FIBRA DE MACROSINTÉTICA SYNTHEX (7 kg/m3)	kg	5,835.35	5.55	32,398.31
1.2.3.4	PAVIMENTO DE CONCRETO PREMEZCLADO, f'c=280kg/cm2 a 7 días, CEMENTO TIPO HS	M ³	833.62	130.15	108,497.28
1.2.3.5	JUNTAS DE CONTRACCIÓN: CORTE Y SELLADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	M	510.00	5.62	2,866.20
1.2.3.6	JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y DILATACIÓN: TEKNOPOR Y SELLO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	M	315.00	6.50	2,047.50

A07.5: Formato de presupuesto para losa reforzada con fibra macrosintética FMS-7

ITEM	PARTIDAS	UND	METRADO	PU (\$)	TOTAL (\$)
1	LOSA INDUSTRIAL CON ADICIÓN DE FIBRAS				229,276.77
1.1	OBRAS PRELIMINARES				11,750.00
1.1.1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN, INSTALACIÓN, MATENIMIENTO Y RETIRO	GLB	1.00	5,000.00	5,000.00
1.1.2	TRAZO Y REPLANTEO	M ²	2,700.00	2.50	6,750.00
1.2	OBRAS CIVILES				
1.2.2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				64,933.88
1.2.2.1	EXCAVACION MASIVA HASTA NIVEL SUBRASANTE (INCLUYE ELIMINACIÓN)	M ³	1,755.00	18.84	33,058.72
1.2.2.2	COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE	M ²	2,700.00	1.81	4,876.14
1.2.2.3	BASE GRANULAR COMPACTADA	M ³	921.38	29.30	26,999.02
1.2.3	OBRAS DE CONCRETO/ O ASFALTO			0.00	152,592.89
1.2.3.1	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSAS DE CONCRETO	M	315.00	7.99	2,517.65
1.2.3.2	DOWELLS EN JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN	UND	233.00	10.42	2,427.82
1.2.3.3	SUMINISTRO DE FIBRA MACROSINTÉTICA FIBERMESH-650S (7 kg/m ³)	kg	5,835.35	5.87	34,236.45
1.2.3.4	PAVIMENTO DE CONCRETO PREMEZCLADO, f _c =280kg/cm ² a 7 días, CEMENTO TIPO HS	M ³	833.62	130.15	108,497.28
1.2.3.5	JUNTAS DE CONTRACCIÓN: CORTE Y SELLADO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	M	510.00	5.62	2,866.20
1.2.3.6	JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y DILATACIÓN: TEKNOFOR Y SELLO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA	M	315.00	6.50	2,047.50