

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INCORPORACIÓN DE FIBRAS DE ACERO EN EL CONCRETO  
HIDRÁULICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES  
FÍSICAS DEL PAVIMENTO EN FÁBRICAS INDUSTRIALES**

**TESIS**

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

**PRESENTADO POR:**

**BACH. IBARRA CABANILLAS ANTHONY PAOLO**

**BACH. MAYO ESPINOZA CHRISTIAN JOSEPH**

**ASESOR: MSc. ING. HUAMAN GUERRERO NESTOR WILFREDO**

**LIMA - PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

Dedico el tiempo y esfuerzo empleado en este trabajo a mis padres Walter y Gina, mis hermanos Micaela y Samuel, mi querida María compañera y madre de mi hija Leandra, mi mayor impulso seguir progresando y avanzando en la vida.

Anthony Ibarra Cabanillas

Dedico la presente tesis a mis padres Orlando Mayo y Elisabet Espinoza por su apoyo inmensurable, a mis hermanos Erick y Karoline, por su comprensión, y a mi hijo Thiago Alonzo, por darme ese motivo y fuerzas de mantenerme firme en cada etapa del desarrollo de esta tesis.

Christian Mayo Espinoza

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro sincero agradecimiento a Dios por permitirnos culminar esta carrera profesional. A la Universidad Ricardo Palma, a nuestros profesores y mentores por brindarnos conocimientos, cultivar valores, virtudes, buenos hábitos de estudio y trabajo.

A nuestro asesor el Ing. Néstor Wilfredo Huamán Guerrero y metodólogo, Ing. Joaquín Samuel Támara Rodríguez, por el apoyo, tiempo y dedicación, en el desarrollo de la presente tesis.

Anthony Ibarra y Christian Mayo

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIV</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>17</b>
1.1 Descripción de la realidad de la problemática.....	17
1.2 Formulación del problema.....	18
1.2.1 Problema principal .....	18
1.2.2 Problemas secundarios .....	18
1.3 Objetivos de la investigación.....	18
1.3.1 Objetivo general .....	18
1.3.2 Objetivos específicos.....	18
1.4 Justificación e importancia de la investigación .....	18
1.4.1 Conveniencia .....	19
1.4.2 Relevancia Social .....	19
1.4.3 Implicancia práctica.....	19
1.5 Limitaciones de la investigación .....	19
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1 Antecedentes de la investigación.....	20
2.1.1 En el ámbito internacional.....	20
2.1.2 En el ámbito nacional .....	21
2.2 Bases teóricas .....	22
2.2.1 Concreto hidráulico .....	22
2.2.1.1 Definición .....	22
2.2.1.2 Componentes.....	22
2.2.1.3 Propiedades del concreto fresco.....	26
2.2.1.4 Propiedades del concreto endurecido.....	28

2.2.1.5 Aplicaciones en losas industriales.....	30
2.2.2 Fibra de acero .....	36
2.2.2.1 Definición .....	36
2.2.2.2 Reseña Histórica y Elaboración .....	36
2.2.2.3 Forma y Tipos .....	38
2.2.2.4 Propiedades .....	41
2.2.2.5 Normativas Internacionales.....	45
2.2.2.6 Fibras con otros componentes.....	47
2.2.3 Losas industriales. ....	49
2.2.3.1 Definición .....	49
2.2.3.2 Tipos .....	49
2.2.3.3 Planimetría en losas industriales .....	50
2.2.3.4 Sistemas aplicados .....	53
2.2.3.5 Métodos de diseño .....	55
2.2.3.6 Sistema de Juntas .....	66
2.2.4 Pisos industriales con fibra de acero .....	68
2.2.4.1 Componentes.....	68
2.2.4.2 Dosificación y colocación de fibras de acero en el concreto hidráulico .....	69
2.2.4.3 Procesos constructivos .....	70
2.2.4.4 Colocación de endurecedores de capa de rodadura .....	80
2.2.4.5 Colocación de filoguiado en los pasillos .....	81
2.2.5 Ensayos a losas industriales con fibra de acero.....	81
2.2.5.1 Ensayo flexotracción.....	81
2.2.5.2 Ensayo de impacto .....	89
2.2.5.3 Ensayo de tenacidad-fatiga .....	91
2.2.5.4 Ensayo a compresión .....	92
2.2.5.5 Ensayo a la cortante .....	93
2.3 Definiciones conceptuales .....	94
2.4 Estructura teórica y científica que sustenta la investigación .....	95

<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS.....</b>	<b>97</b>
3.1 Formulación de hipótesis.....	97
3.1.1 Hipótesis general.....	97
3.1.2 Hipótesis específicas.....	97
3.2 Variables.....	97
3.2.1 Definición conceptual de las variables.....	97
3.2.2 Operacionalización de las variables.....	98
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>99</b>
4.1 Tipo y nivel.....	99
4.1.1 Tipo de investigación.....	99
4.1.2 Método de la investigación.....	99
4.2 Diseño de investigación.....	100
4.3 Población y muestra.....	100
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	100
4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos.....	100
4.4.2 Procedimientos para la recolección de datos.....	101
4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	101
<b>CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>102</b>
5.1 Diagnóstico y situación actual en el Perú.....	102
5.1.1 Antecedentes.....	102
5.1.2 Proyectos realizados en Perú de losas industriales con fibras de acero.....	104
5.2 Desarrollo del Plan Estratégico.....	107
5.2.1 Beneficios de la fibra de acero en las losas industriales.....	107
5.3 Presentación y análisis de las propiedades físicas en losas industriales con fibra de acero, obtenido en investigaciones nacionales e internacionales.....	110
5.3.1 Esfuerzo a la flexotracción en losas industriales reforzado con fibra de acero.....	110
5.3.2 Esfuerzo a la tenacidad-fatiga en losas industriales reforzado con fibra de acero ..	120
5.3.3 Esfuerzo al impacto en losas industriales reforzado con fibra de acero.....	127

5.3.4 Esfuerzo a la compresión en losas industriales reforzado con fibra de acero .....	129
5.3.5 Esfuerzo a la cortante en losas industriales reforzado con fibra de acero .....	131
5.4 Análisis del insumos, rendimiento y costo unitario de la fibra de acero en losas industriales .....	133
5.4.1 Análisis de proceso constructivo de losas industriales con fibra de acero .....	133
5.4.2 Análisis económico de la incorporación de fibra de acero en losas industriales.....	133
5.4.3 Análisis de esfuerzo a la flexotracción en losas industriales con fibra de acero .....	135
5.4.4 Análisis de esfuerzo a la tenacidad-fatiga en losas industriales con fibra de acero	136
5.4.5 Análisis de esfuerzo a al impacto en losas industriales reforzado con fibra de acero .....	137
5.4.6 Análisis de esfuerzo a la compresión en losas industriales con fibra de acero .....	137
5.4.7 Análisis de esfuerzo a la cortante en losas industriales reforzado con fibra de acero .....	138
5.5 Contrastación de hipótesis .....	138
5.5.1 Contrastación de hipótesis específica 1 .....	138
5.5.2 Contrastación de hipótesis específica 2 .....	139
5.5.3 Contrastación de hipótesis específica 3 .....	140
5.5.4. Contrastación de hipótesis general .....	140
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>141</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>143</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>144</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>148</b>
Anexo 01: Matriz de Consistencia.....	148
Anexo 02: Ficha técnica SIKA FIBER CHO 80/60 NB .....	149
Anexo 03: Ficha técnica Fibra metálica Z.....	150

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Ensayo de cono de Abrams .....	27
Figura N° 2: Exudación del concreto .....	27
Figura N° 3: Ensayo de contenido de aire .....	28
Figura N° 4: Ensayo de Compresión .....	29
Figura N° 5: Ensayo a la flexión .....	30
Figura N° 6: Componentes de una losa de concreto hidráulico .....	31
Figura N° 7: Losas con refuerzo de acero corrugado .....	33
Figura N° 8: Losas postensadas.....	33
Figura N° 9: Mallas electrosoldadas.....	34
Figura N° 10: Losas almacén de cámara de frío FRIGORÍFICO MODELO- URUGUAY .....	35
Figura N° 11: Fibras de acero Z aditivos.....	37
Figura N° 12: Formas de fibra de acero .....	38
Figura N° 13: Secciones de la fibra de acero .....	39
Figura N° 14: Fibra metálica de acero.....	39
Figura N° 15: Fibra deformada en los extremos .....	40
Figura N° 16: Fibras de láminas cortadas.....	41
Figura N° 17: Gráfico comparativo del Módulo de Young.....	43
Figura N° 18: Esfuerzos a la tensión de los tipos de fibra de BEKAERT .....	44
Figura N° 19: Resistencia del hormigón con fibra .....	45
Figura N° 20: Tipos de Fibra MACCAFERRI.....	48
Figura N° 21: Clases de pisos industriales .....	49
Figura N° 22: Estabilidad de equipos de izaje o levante .....	51
Figura N° 23: Clasificación de las losas según los números F.....	53
Figura N° 24: Sistemas de AGV de SSI SCHAEFER .....	54
Figura N° 25: Ábaco de transferencia de esfuerzo en las juntas al 100 % .....	57
Figura N° 26: Ábaco de transferencia de esfuerzo en las juntas al 0 % .....	58
Figura N° 27: Ábaco de espesor de losa para cargas vehiculares .....	59
Figura N° 28: Sistema del Software PAVE 2008.....	65
Figura N° 29: Juntas de contracción.....	66

Figura N° 30: Juntas de dilatación.....	67
Figura N° 31: Dispositivos de traspaso de carga en juntas de construcción .....	68
Figura N° 32: Colocación de fibra de acero en el concreto.....	70
Figura N° 33: Nivelación, conformación y compactado de terreno .....	72
Figura N° 34: Trazos para sectorizar las losas .....	72
Figura N° 35: Ensayo de placa de carga.....	73
Figura N° 36: Incorporación de fibras de acero al mixer-ensayos de slump del concreto con fibras de acero.....	74
Figura N° 37: Mezclado del concreto con la fibra de acero .....	75
Figura N° 38: Colocación de concreto en el terreno .....	75
Figura N° 39: SXP-D de 11 metros.....	76
Figura N° 40: Magic Screed de 6 metros .....	76
Figura N° 41: Nivelación óptica con láser de losas industriales .....	77
Figura N° 42: Alisadoras simples y dobles .....	78
Figura N° 43: Cortes de pavimento .....	79
Figura N° 44: Curado y sellado de juntas en losas industriales .....	80
Figura N° 45: Colocación de endurecedores de cada de rodadura .....	80
Figura N° 46: Ensayo flexotracción del ensayo en viga.....	82
Figura N° 47: Ensayo Barcelona de doble punzonamiento.....	83
Figura N° 48: Ensayo de viga EFNARC .....	83
Figura N° 49: Ensayo de viga con carga central .....	84
Figura N° 50: Ensayo rílem de vigas.....	85
Figura N° 51: Ensayo de panel cuadrado EFNARC .....	87
Figura N° 52: Ensayo de panel circular EFNARC .....	88
Figura N° 53: Ensayo de panel circular EFNARC .....	88
Figura N° 54: Ensayo de impacto, caída de peso instrumentado .....	90
Figura N° 55: Ensayo de probetas tipo Z .....	94
Figura N° 56: Almacén de losas del truck shop de Sociedad Minera Cerro Verde .....	104
Figura N° 57: Almacén Cormin Callao .....	105
Figura N° 58: Contenedores de reservorios con petróleo Ventanilla - Callao .....	106
Figura N° 59: Simulación de una programación de losa con malla de acero.....	108

Figura N° 60: Simulación de una programación de losa industrial con fibra de acero .....	108
Figura N° 61: Ensayo de Slump de concreto con fibra de acero .....	120
Figura N° 62: Ensayo de fractura a flexotracción con carga central .....	120
Figura N° 63: Resultados de ensayo de fatiga en la muestra de control .....	121
Figura N° 64: Resultados de ensayo de fatiga en la muestra con 20 kg/m <sup>3</sup> de fibras.....	122
Figura N° 65: Resultados de ensayo de fatiga en la muestra con 40 kg/m <sup>3</sup> de fibras.....	122
Figura N° 66: Resultados de ensayo de fatiga en la muestra con 80 kg/m <sup>3</sup> de fibras.....	123
Figura N° 67: Curvas de fatiga con un 50 % de probabilidad de falla .....	125
Figura N° 68: Curvas de fatiga con un 80 % de probabilidad de falla .....	125
Figura N° 69: Curvas de fatiga con un 90 % de probabilidad de falla .....	126
Figura N° 70: Cronograma masivo de una losa con refuerzo convencional Vs. una losa con fibra de acero .....	133
Figura N° 71: Análisis del costo de una losa industrial con refuerzo convencional .....	134
Figura N° 72: Análisis del costo de una losa industrial con fibra de acero .....	134
Figura N° 73: Gráfica de comparación del ensayo a la flexotracción entre un concreto normal y uno con fibra de acero .....	136

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Tipos de fibra SUPERCAM 2020 .....	42
Tabla N° 2: Módulos de elasticidad BEKAERT .....	43
Tabla N° 3: Especificaciones Técnicas de la Fibra de Acero .....	46
Tabla N° 4: Normativas internacionales para la fibra de acero como refuerzo del concreto ....	47
Tabla N° 5: Principales propiedades de fibras de distinto materiales .....	48
Tabla N° 6 Clasificación general de pisos según los números F .....	52
Tabla N° 7: Diseños según ACI-360R-10 .....	55
Tabla N° 8: Condiciones para el uso de refuerzo en el pavimento .....	60
Tabla N° 9: Parámetros del concreto .....	62
Tabla N° 10: Resistencia a la flexión de las fibras de acero .....	63
Tabla N° 11: Fórmulas para cálculo de cargas .....	64
Tabla N° 12: Rango de proporciones para un SFRC .....	69
Tabla N° 13: Operacionalización de Variables .....	98
Tabla N° 14: Empresas en Perú que comercializan la fibra metálica.....	102
Tabla N° 15: Empresas a nivel mundial que comercializan las fibras .....	103
Tabla N° 16: Presupuesto de una losa con malla de acero de refuerzo grado 60.....	109
Tabla N° 17: Presupuesto de una losa con fibra de acero .....	110
Tabla N° 18: Características del agregado fino, grueso y del cemento .....	111
Tabla N° 19: Resistencia de diseño .....	111
Tabla N° 20: Estimación de aire de diseño y aire atrapado.....	112
Tabla N° 21: Relación agua/cemento en peso .....	113
Tabla N° 22: Contenido del agregado grueso con relación al M.F. del agregado fino .....	114
Tabla N° 23: Resultado del Módulo de Rotura .....	121
Tabla N° 24: Parámetros de Weibull para cada tipo de muestra .....	124
Tabla N° 25: Parámetros de la curva de fatiga con una probabilidad de falla al 50% .....	126
Tabla N° 26: Parámetros de la curva de fatiga con una probabilidad de falla al 80% .....	127
Tabla N° 27: Parámetros de la curva de fatiga con una probabilidad de falla al 90% .....	127
Tabla N° 28: Características mecánicas de la fibra .....	128
Tabla N° 29: Resultados de impacto para la fibra S-900 .....	128

Tabla N° 30: Resultados de impacto para la fibra S-950 .....	129
Tabla N° 31: Proporciones de insumos y características de diseño de mezcla patrón .....	129
Tabla N° 32: Resumen de resistencias obtenidas según diseño patrón .....	130
Tabla N° 33: Resumen para $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ adicionando fibras de acero.....	130
Tabla N° 34: Resumen para una $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ adicionando fibras de acero.....	130
Tabla N° 35: Resumen para una resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionando fibras de acero ...	131
Tabla N° 36: Propiedades de las fibras de acero .....	131
Tabla N° 37: Características de los concretos estudiados .....	132
Tabla N° 38: Resistencia al corte obtenido en los concretos ensayados .....	132
Tabla N° 39: Resistencia a la flexión del concreto sin incorporación de fibra .....	135
Tabla N° 40: Resistencia a la flexión del concreto con incorporación en un 8% de fibra .....	135
Tabla N° 41: Promedio de la variación de $\delta$ .....	137

## RESUMEN

Se propuso la incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico tomando como base proyectos realizados en fábricas industriales tanto en el Perú como a nivel internacional, analizando los ensayos que se aplicaron en cada proyecto, obteniendo resultados positivos con respecto a un concreto control que cada proyecto e investigación presentó.

La investigación se realizó mediante el método inductivo con un enfoque cualitativo y una orientación aplicativa, además fue una investigación documental retroelectiva. El nivel de investigación es explicativo y descriptivo y se realizó de manera documental y de campo retrospectivo debido a que los datos se recogieron con anterioridad.

Se identificaron con éxito cada proceso y ensayo del control de la incorporación de las fibras de acero en el concreto hidráulico, con lo que se consiguieron resultados óptimos, ya que se aseguró la calidad de los ensayos realizados y sus procesos se disminuyeron los costos de ejecución y la insatisfacción para el uso de las fibras de acero.

Finalmente, la investigación determinó que la incorporación de las fibras de acero influye de manera positiva las propiedades físicas en el concreto hidráulico para fábricas industriales.

**Palabras claves:** Losas industriales, fibra de acero, concreto hidráulico, propiedades físicas.

## ABSTRACT

The incorporation of steel fibers in hydraulic concrete was proposed based on projects carried out in industrial factories both in Peru and internationally, analyzing the tests that were applied in each project, obtaining positive results with respect to a specific control that each project and research presented.

The research was carried out using the inductive method with a qualitative approach and an applicative orientation, in addition to being a retro-selective documentary research. The level of research is explanatory and descriptive and was carried out in a documentary and retrospective field because the data was previously recognized.

Each process and test of the control of the incorporation of the steel fibers in the hydraulic concrete were successfully identified, with which optimal results were achieved, since the quality of the tests carried out was ensured and their processes decreased the execution costs and dissatisfaction with the use of steel fibers.

Finally, the investigation determined that the incorporation of steel fibers positively influences the physical properties in hydraulic concrete for industrial factories.

**Keywords:** Industrial slabs, steel fiber, hydraulic concrete, physical properties.

## INTRODUCCIÓN

La construcción es una de las industrias, que está presentando cambios gracias a la tecnología; parte de ello lo tiene su componente principal, el concreto hidráulico pues los avances buscan cada día hacer de la mezcla con mayores beneficios y resistencia ante cualquier agente externo e interno. Para ello el concreto entra en combinación con otros insumos como acero, aditivos, etc.

En esta investigación conoceremos a fondo el concreto utilizado en losas industriales, pero con la tecnología de la fibra de acero que cada vez viene buscando posicionarse en Perú como uno de los mejores agentes, esto gracias a su enfoque en el ámbito económico como estructural que le permite afrontar grandes retos y solicitudes críticas que se ven en proyectos de gran dimensión como centros comerciales, almacenes de acopio, estacionamientos, patios de maniobras en mineras, gaseoductos, etc.

Si mencionamos los beneficios que tiene este sistema de construcción de losas industriales, no solo es el enfoque de gestión (donde manifiesta mejoras en el proceso constructivo y reducción de costos), también es importante detallar que cumple con las propiedades necesarias para hacer frente a los esfuerzos mecánicos (flexotracción, impacto, fatiga, compresión e impacto), que están expuestos debido a su alto tránsito de vehículos con cargas. En nuestro proyecto citamos investigaciones nacionales e internacionales que muestran en base a experiencias propias la buena práctica de la incorporación de fibra de acero al concreto hidráulico para losas industriales.

En el capítulo I, mostramos el planteamiento del problema, los objetivos y la importancia que conlleva el uso de la fibra de acero para optimizar las propiedades físicas en losas industriales, lo desarrollamos en función a las investigaciones nacionales internacionales.

En el capítulo II, se elabora el marco teórico donde comenzamos citando investigaciones nacionales e internacionales, así mismo desarrollamos a detalle los conceptos principales como concreto hidráulico, fibra de acero, losas industriales, procesos constructivos, propiedades físicas como flexotracción, impacto, fatiga, compresión, cortante.

En el capítulo III, conceptualizamos las hipótesis de nuestra investigación y las variables para luego proceder a su operacionalización.

En el capítulo IV, situamos nuestro proyecto en función a su metodología, para poder conocer el tipo, nivel, diseño y población, así mismo técnicas y procedimientos para la recolección de datos, de las cuales tendremos criterios de validez.

En el capítulo V, presentamos las principales empresas que comercializan la fibra de acero, así mismo detallamos proyectos nacionales donde se aplicó este insumo, y de esta forma evaluamos el procedimiento de la fibra dentro de las propiedades físicas de la losa industrial, para dar como finalizado unas tablas con análisis de comparación entre un concreto convencional y uno con fibras de acero.

Para terminar, exponemos las conclusiones y recomendaciones, en función a las variables planteadas, que son parte de nuestra hipótesis, objetivos y planteamiento del problema.

Y como fin del proyecto anexaremos, la matriz de consistencia, tablas y hojas técnicas que sean de gran utilidad, cuando queramos conocer un poco más de la fibra de acero.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### 1.1 Descripción de la realidad de la problemática

Los pavimentos industriales deben estar diseñados para soportar movimiento de máquinas, tránsito rudo, toda clase de labores a las cuales estarán sometidos y un pavimento con un diseño de condición normal no resistiría.

Perú Construye (2018) Magdalena Mogollón, administradora de la división de proyectos y servicios de Rhodes Industrial, menciona que debido a la demanda de pisos que se registró en los últimos años la competencia aumentó de manera interesante. “Trabajo hay. Si bien nosotros estamos muy centralizados en Lima, en provincia hay un boom. Por ejemplo, en Chimbote, las empresas pesqueras demandan pisos especiales, así como la industria agroalimentaria, quienes por un tema de control de calidad y sanidad por parte de Digesa deben mantener en buen estado sus pisos, de ahí que los jefes de mantenimiento busquen empresas que puedan responder a sus requerimientos en el menor tiempo”, dijo no sin antes mencionar que últimamente lo que más se está haciendo son trabajos de reparaciones. En consecuencia, el crecimiento para la construcción de losas industriales requiere una mayor investigación y tecnología que pueda responder a los nuevos requerimientos y demandas de manera efectiva y económica.

Actualmente los pisos industriales están implementando una tecnología que lo hace ver más sofisticada desde una gestión de calidad, toda vez que su diseño debe contemplar exigencias desde la planimetría, por donde transitaran vehículos con carga hasta sus características físicas para un mayor tiempo de vida útil, Esto ha conllevado a que se evalué innovaciones en cada fase de su proceso constructivo.

## 1.2 Formulación del problema

### 1.2.1 Problema principal

¿Cómo la incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico optimizará las propiedades físicas del pavimento en las fábricas industriales?

### 1.2.2 Problemas secundarios

- a) ¿Cómo la incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico disminuye la fatiga del pavimento en fábricas industriales?
- b) ¿Cómo la incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico optimizará la resistencia a la flexión del pavimento en fábricas industriales?
- c) ¿Cómo la incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico optimizará la resistencia al impacto del pavimento en fábricas industriales?

## 1.3 Objetivos de la investigación

### 1.3.1 Objetivo general

Incorporar las fibras de acero en el concreto hidráulico para la optimización de las propiedades físicas en base a experiencias realizadas del pavimento en fábricas industriales.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- a) Incorporar las fibras de acero en el concreto hidráulico para disminuir la fatiga del pavimento en fábricas industriales.
- b) Incorporar las fibras de acero en el concreto hidráulico para el mejoramiento de la resistencia a la flexión del pavimento en fábricas industriales.
- c) Incorporar las fibras de acero en el concreto hidráulico para la optimización de la resistencia al impacto del pavimento en fábricas industriales.

## 1.4 Justificación e importancia de la investigación

En el diseño y la construcción de pisos industriales debe tenerse en cuenta los requisitos de resistencia así como los de capacidad para el uso o servicio al que se destinarán, para los

pisos de alto desempeño no sólo se debe especificar la resistencia a la compresión del concreto, también se deben tener en cuenta otros factores que influyen en el comportamiento y la durabilidad del mismo, para esto hay que tener en cuenta que el desempeño de una losa en capacidad de servicio está dado por el tipo u origen de la carga, por tal motivo es indispensable estudiar y analizar el comportamiento del concreto en escenarios de alta exigencia en cuanto a resistencia, flexibilidad e impacto, primordialmente con las cargas a las que se someterán.

#### 1.4.1 Conveniencia

El presente proyecto de investigación manifiesta el avance de la tecnología para la construcción de losas industriales, buscando obtener cada vez una mayor resistencia ante los esfuerzos mecánicos a los que se vaya a enfrentar este elemento estructural.

#### 1.4.2 Relevancia Social

Con este proyecto, queremos dar a conocer la tecnología de nuevos materiales empleados en el proceso constructivo de losas industriales. Y de esta manera brindar información necesaria para el desarrollo de cualquier estudiante o profesional.

#### 1.4.3 Implicancia práctica

La implicancia de esta investigación menciona el uso de un nuevo refuerzo estructural para losas de concreto hidráulico y de esta manera obtener mejores resultados en las propiedades físicas antes cualquier evento de resistencia mecánica que pueda estar sometido.

### 1.5 Limitaciones de la investigación

La principal limitación es el actual problema pandémico que vivimos, esto evita realizar acuerdos al 100 % del desarrollo de nuestra investigación, así mismo el tiempo de ejecución, ya que en un periodo de seis meses se buscó desarrollar lo plasmado en nuestros objetivos. Así mismo recabar las informaciones referida a los ensayos al impacto y fatiga de losas con fibras de acero, toda vez que en Perú este sistema es novedoso, sin embargo, se consiguió información de investigaciones nacionales que si analizan este tipo de ensayos.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1 En el ámbito internacional

Deacero (2019) La aplicación de las fibras de acero en la construcción tiene una aproximación de un siglo de existencia, pues desde 1910 se agregaron como elementos discontinuos de acero. Sin embargo, en 1960, en Estados Unidos, se realizó la primera investigación para valorar el permisible de las fibras como refuerzo para el concreto.

Deacero (2019) Hoy en día el sector construcción cuenta con mejores herramientas que permiten una sofisticada estructuración. Pues tan sólo en 2017, la fibra de acero tuvo un valor de \$1.60 mil millones de dólares y se espera que alcance la suma de los 2.45 mil millones de dólares para 2026.

Meza (2015) los análisis en losas de concreto reforzadas con fibras apoyadas en el suelo recomiendan el uso de bajas dosificaciones como refuerzo del concreto. Para el caso de fibras de acero Dramix 20kg/m<sup>3</sup> y para fibras de polipropileno Euclid 2.125 kg/m<sup>3</sup>. En cuanto al tipo de suelo de soporte para la losa se recomendó la mejora del suelo con 2% de cemento, esto reducirá en forma significativa las deformaciones producidas en la interacción entre la losa y el suelo.

Meza (2015) En el aspecto social esta tesis contribuye al diseño y construcción de estructuras eficientes optimizando los recursos. Se ha observado que, ante la comunidad, el concreto es un elemento que ha jugado un papel importante, como promotor del desarrollo y del avance tecnológico. Por lo que la tecnología en concreto ha evolucionado a través de la historia, pero este avance no ha cesado, sino que la demanda social le ha exigido un continuo desarrollo para solventar sus necesidades. El sector industrial no es la excepción en la demanda de un piso con mayor capacidad mecánica y de resistencia al agrietamiento.

### 2.1.2 En el ámbito nacional

Perú Construye (2021) El representante de Z aditivos refirió que en el mercado existen losas industriales para patio de maniobras y almacenes; y las losas o pisos para laboratorios y plantas agroalimentarios. “En el primer caso dentro del proceso constructivo abastecemos al mercado con fibras de acero y de polipropileno para evitar fisuras los cuales se vierten a la mezcla de concreto, de acuerdo con los requerimientos.

(Luna 2017) Los pavimentos de concreto armado con fibras de acero empezaron a emplearse hace algunas décadas, en aplicaciones donde el elevado costo de este tipo de material es compensado por sus características, como disminución del espesor del pavimento del orden de un 30%, aumento de la resistencia a tracción y a la fatiga, mejor comportamiento a la flexo-tracción, resistencia al impacto, durabilidad. Se puede utilizar diferentes tipos de fibras como metálicas, propileno, carbón, acero, etc., con excelentes resultados en capas delgadas de refuerzo y en pavimentos sometidos a cargas muy pesadas (aeropuertos, puentes, industrias y portuarios).

(Carrillo, Aperador y Gonzales 2012) El uso de fibras en el concreto para proveer comportamiento adecuado antes y después de agrietamiento, ha ganado gran popularidad en las últimas décadas. Desde 1967 varios tipos de fibras se han utilizado en el concreto de forma satisfactoria, pues se han mejorado las propiedades físicas y de durabilidad del concreto. Adicionalmente, los resultados de investigaciones experimentales han demostrado la capacidad de las fibras para mejorar las propiedades mecánicas del concreto.

(Rodríguez 2013) Para estudiar la fatiga del concreto reforzado con fibras, es importante abordar inicialmente conceptos relacionados con sus propiedades básicas en estado plástico y endurecido, entre ellas están el asentamiento, el contenido de aire, la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad. Adicionalmente, se deben estudiar metodologías de procesamiento y análisis de los datos obtenidos en los ensayos de fatiga, ya que según algunos autores la dispersión de los resultados experimentales es alta.

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Concreto hidráulico

#### 2.2.1.1 Definición

Se denomina concreto hidráulico a la combinación del cemento portland, agua, agregados finos y gruesos y según la necesidad se requerirá de aditivos químicos. Cuando el concreto se encuentra en estado fresco presenta propiedades de plasticidad y ductilidad, después del fraguado tomará propiedades de rigidez y resistencia según las dosificaciones.

En la determinación de la calidad de concreto se ha considerado que intervienen alrededor de 200 variables de ellas algunas son congénitas al diseño y otras al proceso de elaboración; dicho esto, la dosificación y fabricación del concreto es un trabajo complejo por lo que se deberá cumplir normas establecidas respecto a dosificación y calidad del agregado y la manera que se produzca; y en la medida en que se adapten tecnologías foráneas a las condiciones propias de la región, empleando materiales nativos y soluciones autóctonas, se ganará en economía. (El concreto y otros materiales para la construcción, 2003, p. 33).

#### 2.2.1.2 Componentes

El concreto es fabricado según las condiciones de uso y dosificaciones, para ello se emplea cantidades variables de cemento, agua, arena y grava. A continuación, detallamos las propiedades, características y funciones de cada una de ellas, para conseguir un concreto óptimo y de buena calidad.

##### a) Cemento Portland

El concreto y otros materiales para la construcción (2003), indica que el cemento Portland se define, como el producto derivado al triturar el Clinker con añadidura de yeso, este resulta de la calcinación hasta una fusión incipiente de una mezcla debidamente dosificada de materiales silíceos, calcáreos y férricos.

Dentro del cemento podemos encontrar distintos tipos que cumple con la calidad y exigencias imperceptibles que sean desarrolladas según la Norma Técnica Peruana 334.009 y el ASTM C-150.

) Cemento Portland Tipo I

Este cemento es el más usado toda vez que su desarrollo es para cualquier proyecto que en sus especificaciones técnicas no solicite alguno tipo o uso en específico. Podemos ejecutar edificaciones, cimentaciones, etc. Teniendo en cuenta que es el cemento más rentable económicamente.

) Cemento Portland Tipo II

Podemos encontrar entre sus principales características un producto con resistencia moderada a los sulfatos. Por ende, podremos darle uso para cimentaciones o estructuras de concreto que tengas contacto con terrenos, suelos o aguas con presencia de sulfatos.

) Cemento Portland Tipo III

Este cemento se caracteriza por alcanzar su alta resistencia según la dosificación a los 3 días; esta propiedad la tiene por poseer un mayor grado de calor de hidratación; pues lo común es llegar a este valor a los 7 días. Dado esto podemos aplicarlo en lugares de climas con temperaturas bajas, o en proyectos donde la premura en el desencofrado es inmediata.

) Cemento Portland Tipo IV

A diferencia del tipo III este cemento posee la propiedad de bajar el calor de hidratación, de esta forma minimiza el tiempo de fraguado. Podemos desarrollar con este tipo de cemento, proyectos donde se requiera gran cantidad de concreto o elementos estructurales de gran altura y el llenado de concreto sea por gravedad.

) Cemento Portland Tipo V

Este cemento tiene como principal beneficio contrarrestar a los sulfatos. Su uso será para lugares portuarios o elementos

estructurales que están en contacto con suelos, acueductos y lugares con alta presencia de sales marinas.

El concreto y otros materiales para la construcción (2003), manifiesta que también existe los tipos 1 A, 1MA, 2A y 3 A que corresponden a los ya indicados con adición de material incorporador de aire.

b) Agua

Se considera como el componente de vital importancia para la construcción, este insumo a través de sus propiedades brinda al concreto una mayor trabajabilidad y fluidez.

Según la norma AASHTO T-26 entre el cemento y agua existe una relación que es un indicador importante para el diseño del concreto, y de este diseño dependerá la resistencia y longevidad.

Según (Torres, 2002) el agua se emplea en 3 procesos importantes de la construcción.

- Como agua de mezclado: Se emplea en la mezcla del concreto.
- Como agua de curado: su uso se da para hidratar los especímenes elaborados.
- Como agua de lavado: se emplea para lavar los materiales a utilizarse en la mezcla de concreto.

Según RNE-060 indica que el agua que se debe utilizar para la construcción será potable, manifestándose libre de toda impureza.

c) Agregados

En la Revista del Ingeniero Civil (2010), indica que en general los agregados, tanto finos como gruesos, deben cumplir como mínimo los requerimientos de las Normas respectivas NTP 40037 (AST-MCI11), las características que más coinciden en los concretos de alta resistencia y con los que debemos ser muy exigentes son la granulometría y la calidad propia del agregado (caso del agregado grueso básicamente).

) Agregado Fino

Se considera agregado fino a todo material que pasa por la malla N° 3/8 al 95% y es retenido en la malla N° 100. Así mismo este presenta cohesividad.

Concreto SuperMix (2017), señala que el agregado fino proviene de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas y escorias siderúrgicas. La arena triturada no puede sobrepasar el 30% del agregado fino.

) Agregado Grueso

Podemos afirmar que a un material es considerado como agregado grueso cuando es retenido en el tamiz N° 4. Así mismo este presenta fricción.

Concreto SuperMix 2017, señala que este agregado debe proceder de la trituración de roca y grava o una combinación de ambas y sus fragmentos deben estar pulcros, resistentes y durables, no debe exceder de partículas planas ni alargadas ni blandas. Deberá estar libre de polvo, terrones de arcillas o cualquier otra sustancia que afecte directamente la calidad de la mezcla.

d) Aditivos

Podemos definir como un compuesto que presenta químicos que pueden generar cambios a las propiedades de un concreto en estado fresco, esto según el requerimiento de las especificaciones técnicas.

Alvarado 2013, menciona que el empleo deberá definirse por medio de ensayos efectuados antes de su aplicación, y el certificado de calidad del fabricante, con las dosificaciones que garanticen el efecto deseado, y no representen peligro para la armadura que puede tener la losa”.

Podemos mencionar los aditivos que comúnmente se suele usar en la construcción:

) Acelerantes

Busca aumentar el tiempo de fraguado, su uso predomina en proyectos donde se requiere una premura con la obtención de la resistencia.

) Retardantes

Reduce el tiempo de fraguado, su uso predomina cuando las plantas de concreto tienen una distancia considerable al proyecto o el clima donde se hará los trabajos alcanzan temperaturas elevadas.

) Plastificantes

Este aditivo tiene como principal función suprimir el contenido de agua, su uso predomina cuando se busca dar un mejor acabado al concreto como losas, o revestimientos.

### 2.2.1.3 Propiedades del concreto fresco

El concreto fresco es el estado inicial que se tiene de un concreto hidráulico al realizar la combinación de sus componentes y este manifiesta las siguientes propiedades:

a) Segregación

La viscosidad del mortero se reduce al presentar insuficiencia de concentración de la pasta, mala distribución de las partículas o granulometría inestable, esto termina produciendo la segregación.

b) Trabajabilidad

Se define trabajabilidad a la maleabilidad del concreto, y como las partículas soporta y resiste a la segregación. La corroboración de esta propiedad lo podemos hacer a través del ensayo de cono de Abrams que se tiene detallado en la NTP 339.035.



Figura N° 1: Ensayo de cono de Abrams

Fuente: Revista Aceros Arequipa 2020

c) Exudación

Aybar de la Torre, manifiesta que se define como el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie. Este cambio sucede una vez que el concreto entra en contacto con el encofrado

Diaz 2018. La exudación se manifiesta por una mala dosificación, un exceso de agua en la mezcla, exceso de cemento y aditivos.

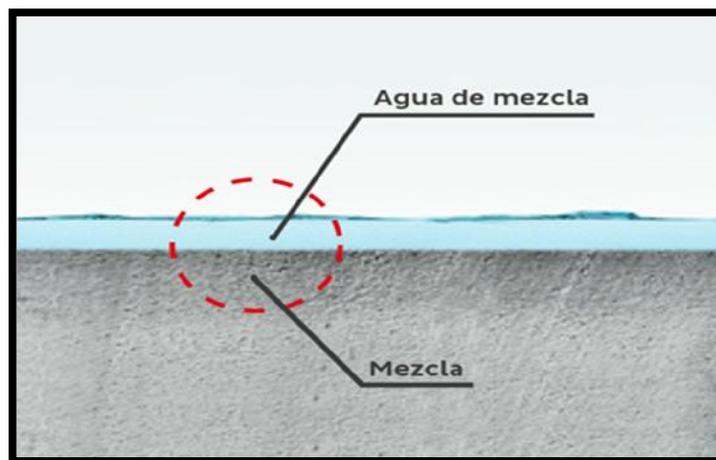


Figura N° 2: Exudación del concreto

Fuente: Revista Aceros Arequipa 2020

d) Contenido de aire

Esta propiedad manifiesta el contenido de aire que tiene el concreto en un estado fresco, cabe resaltar que este aire atrapado ocupa un volumen considerable en la mezcla. La corroboración de esta propiedad lo podemos hacer a través del ensayo de método de presión que se tiene detallado en la NTP 339.080.



Figura N° 3: Ensayo de contenido de aire

Fuente: Revista IMCYC 2020

#### 2.2.1.4 Propiedades del concreto endurecido

Este proceso se evidencia en la etapa final del fraguado, manifestándose de forma consistente, sólida y obteniendo las siguientes propiedades.

a) Resistencia a la compresión

Es la presencia de una carga sometida a una estructura que brinda una relación esfuerzo-deformación (ver la Figura N° 4)

Bambaren 2020, Manifiesta que la resistencia a la compresión de un material que se fractura ante un esfuerzo se define en límites bastante ajustados, como una propiedad independiente. Sin embargo, la resistencia

a la compresión de los elementos que no se fracturan se define como el importe de esfuerzo necesario para deformar el elemento

La división entre la carga máxima y el área transversal no brinda la resistencia a la compresión de una probeta en ensayo.



Figura N° 4: Ensayo de Compresión

Fuente: Revista BH concretos 2020

b) Resistencia a la flexión

Una losa presenta alta delgadez y baja deformación por lo tanto su comportamiento ante la flexión es poco eficiente.

Chumpitaz 2019, manifiesta que el módulo de rotura es importante en el potencial de agrietamiento por fatiga de las losas de concreto.

Bambaren 2020, El Módulo de Rotura (MR) está entre 10 – 20 % de la resistencia a la compresión, esto depende de las dimensiones y volumen del agregado grueso, no obstante, la mejor analogía para los insumos de un concreto hidráulico se obtiene mediante ensayos (ver en la Fig. N° 5) y el diseño de mezcla.

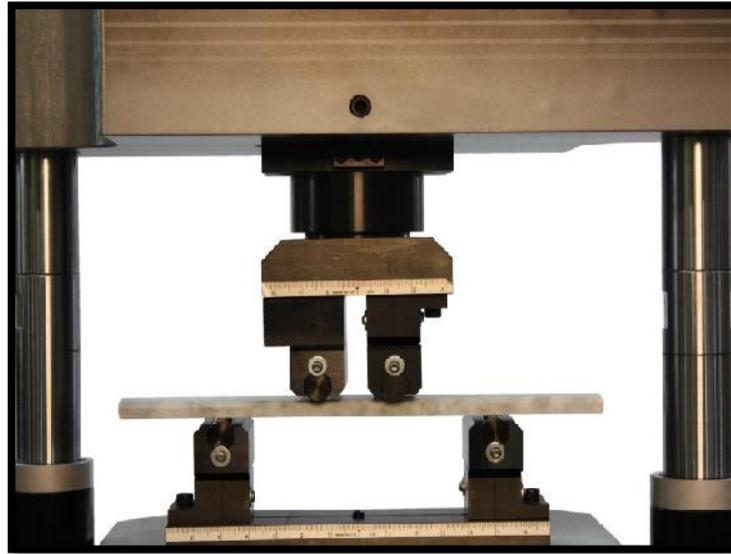


Figura N° 5: Ensayo a la flexión

Fuente: Revista BH concretos 2020

#### 2.2.1.5 Aplicaciones en losas industriales

Una losa de concreto hidráulico tiene como principal función disipar eficientemente las cargas de tránsito vehicular, para el diseño es muy importante corroborar la densidad del terreno y la planimetría.

Las losas de concreto hidráulico presentan los siguientes componentes y están clasificados en losas de concreto simple y losas de concreto armado:

##### a) Componentes de una losa de concreto hidráulico

El pavimento tiene un conjunto de componentes (ver en la Fig. N° 6) que permiten la función mecánica adecuada de este elemento estructural; transfiriendo las cargas de la superficie hacia las capas inferiores del pavimento, siendo los siguientes:

##### ) Losa de concreto

Es la primera capa de un pavimento rígido, en este componente los esfuerzos se disipan de acuerdo con la severidad de la losa, haciendo que se transmita solo una pequeña parte de los esfuerzos a las capas inferiores, base o subbase y a la subrasante.

) Base o Subbase

Montalvo 2015, Esta capa se caracteriza por hacer soporte a los esfuerzos, sin embargo, en un pavimento de concreto hidráulicos los esfuerzos son menores.

En algunos tipos de pavimentos esta capa suele funcionar como drenaje para el descenso del agua y a su vez protección de la losa de concreto.

) Subrasante

Esta capa es el suelo natural donde el pavimento descansa. Su función principal es dar estabilidad que requiere el pavimento. En el diseño de un pavimento se comienza por la subrasante.

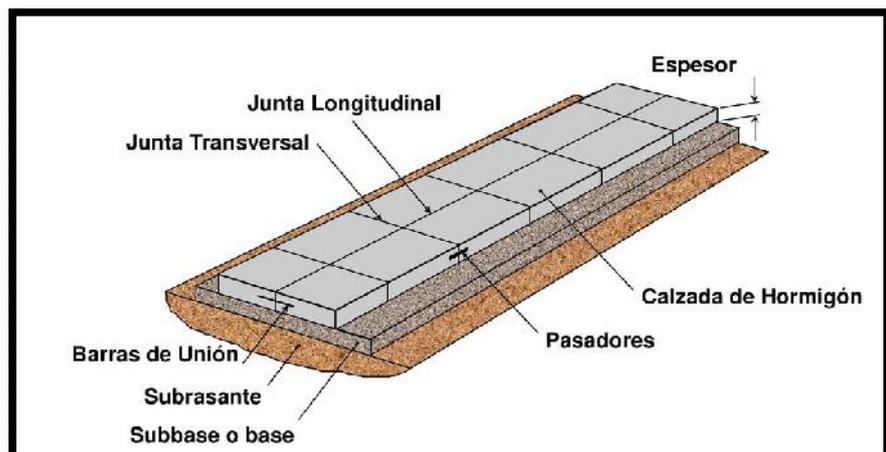


Figura N° 6: Componentes de una losa de concreto hidráulico

Fuente: Yataco 2020

b) Losas de concreto simple

ACI 318-14, Manifiesta que son pavimentos que no tienen entre sus componentes refuerzos de acero o transferencia de cargas. Por ello el concreto es quien asume y resiste los esfuerzos mecánicos y variaciones de temperatura.

Este tipo de losas son para tránsito peatonal o vehicular (ligero) así como para climas de temperaturas normales y en su mayoría son apoyadas en la subrasante. Si se encuentran condiciones severas, se hará un

tratamiento mejorando la subrasante o aumentando el espesor del concreto para soportar las cargas.

c) Losas de concreto armado

Se conoce a toda losa que presenta refuerzos de acero por lo general, de esta los esfuerzos se dividen de la siguiente manera, el concreto absorbe los de compresión y el acero los de tracción

Chumpitaz 2020, manifiesta que los refuerzos para cualquier tipo de estructura aumentan la capacidad de carga y serviciabilidad de la losa.

Uno de los refuerzos más son los aceros corrugados, sin embargo, hoy en día la tecnología nos muestra otros refuerzos para las losas de concreto según lo indique una especificación técnica o diseño estructural, a continuación, mencionamos los más usados.

) Losas con refuerzos de barra de acero

Es uno de los más usados, toda vez que absorbe en su totalidad los esfuerzos de tracción de una losa industrial.

Chumpitaz 2020, nos dice que se caracterizan porque tienen formas de líneas circulares que ayuda a generar una mayor adherencia con el concreto, (ver en la Fig. N° 7) presentan distintos diámetros y son usados según el diseño ya que cumple una serie de requisitos para su uso, como los mencionan en la ASTM (American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana de Ensayos y Materiales) o en la NTP (Norma Técnica Peruana).



Figura N° 7: Losas con refuerzo de acero corrugado

Fuente: Revista Laminas de acero 2019

) Losas con concreto Pre o Post tensado

Este tipo de losas se utiliza en su mayoría para proyectos aeroportuarios o carreteras, las losas quedan sometidas por medio de tensores de acero (ver en la Fig. N° 8). Esto beneficia en tener losas de mayor longitud e incluso reducir el espesor.

ACI-318 2016, manifiesta que el diseño debe soportar variaciones de aberturas producidas por las fisuras, en algunos sistemas se debe proveer de estribos para resistir los esfuerzos horizontales.



Figura N° 8: Losas postensadas

Fuente: Revista Laminas de acero 2019

) Losa con refuerzo de mallas electrosoldadas

Este tipo de refuerzos se utiliza en su mayoría en losas que se apoyan sobre la rasante, esto tiene como finalidad control de agrietamientos. El ACI 360R-92, "Diseño de Losas Sobre la Rasante", recomienda un relleno granular nivelado, apropiado para la compactación y el ajuste, como el material de la base para losas sobre la rasante.

Rodríguez 2008, las varillas que conforman la malla electrosoldada son de aceros trefilados en frío con una influencia mínima de 5000 kg/cm<sup>2</sup> y una resistencia mínima a la rotura de 5600 kg/cm<sup>2</sup>, y fabricados bajo especificaciones de las normas: ASTM A82-94 alambre liso y ASTM A496-94 alambre corrugado.



Figura N° 9: Mallas electrosoldadas

Fuente: Revista Plastimetálica 2019

) Losa con refuerzo de fibras de acero

Mármol P. (2010), define las fibras de acero actúan en la masa de hormigón como elementos rígidos (ver en la Fig. N° 10), de gran área superficial y geometría muy esbelta, esto hace que haya cambios en los procesos de dosificación, fabricación, compactación y acabado de un pavimento rígido (p.21). [...]

Nos detalla también que la cantidad de fibras que se añade es de (20-30 kg/m<sup>3</sup>), con esto se puede trabajar para un diseño de mezcla tradicional sin tener mayores exigencias. A medida que se desea utilizar más fibra, tendremos que dosificar los demás componentes del concreto hidráulico. (p.22). [...]



Figura N° 10: Losas almacén de cámara de frío FRIGORÍFICO  
MODELO- URUGUAY

Fuente: MACCAFERRI 2019

Además, “La fibra se clasifica en estructural y no estructural con la finalidad de aumentar la resistencia al concreto. Serán estructurales cuando son consideradas en el cálculo de sección del concreto y no estructurales en caso contrario” (p.18). [...]

Según el ACI, estructuralmente proporcionan una mayor energía de rotura, sustituyendo en su totalidad o los esfuerzos de acero usados comúnmente. Por el lado no estructural, las fibras proporcionan un notable incremento en la resistencia al fisuramiento, así como el incremento de otras propiedades físicas, compresión, tracción, impacto, fatiga, etc.

Montalvo 2015, manifiesta que un concreto hidráulico con fibras de acero, en el estado fresco dependen de la geometría de la fibra, el porcentaje en la mezcla y las características que unen la fibra con los componentes.

## 2.2.2 Fibra de acero

### 2.2.2.1 Definición

Mármol 2010, Las fibras de acero son elementos de corta longitud y pequeña sección; que se adicionan al hormigón con el fin de conferirle ciertas propiedades específicas, hechas con alambre de acero estiradas en frío, para rendir una alta Resistencia a la tracción. Con las características necesarias para dispersarse aleatoriamente en una mezcla de hormigón en estado fresco empleando metodologías de mezclado tradicionales.

Colegio de Ingenieros del Perú 2014, Las fibras son empleadas en elementos estructurales, de esta manera se busca reducir rendimientos en la mano de obra, el incremento de la durabilidad y reducción o eliminación del refuerzo tradicional. El concreto soporta esfuerzos a tracción que son transmitidos por adherencia a las fibras una vez que se haya producido la micro-fisura, controlan la fisuración y reducen la intensidad de esta a la vez que mejoran la tenacidad.

### 2.2.2.2 Reseña Histórica y Elaboración

#### a) Historia

Aunque se tiene como antecedentes que las fibras se han utilizado desde hace más de 4000 años, Meza 2015, afirma que la primera patente de concreto reforzado con elementos metálicos, se realizó en California en 1874 por Berard.

Por su parte Montalvo 2015 afirma que, en el inicio de los 50 se realizaron diferentes investigaciones respecto al concreto reforzado con fibras, estos trabajos se realizaron por Romualdi, Batos y Mandel (1963).

Así mismo manifiesta que por los años 70 es que se empieza a ver la presencia en los países europeos, sobre todo en España, donde se manifiesta en varios proyectos: revestimiento de túneles, losas industriales, losas de tableros de puentes, contenedores de puentes, etc.

En esta época se hace la patente de I. Kennedy (España) que tiene como incursión el proceso Hatschek, consistía en la producción de láminas de cemento reforzado con fibras de asbesto o amianto para elaborar concreto. Sin embargo, entre 1970 y 1980 queda en decadencia su uso por los problemas de salud que generaba.

En la actualidad la presencia del concreto con fibras de acero viene generando muchos éxitos al presentar resultados favorables en la diversidad de proyectos que se ejecutan y esto gracias a la investigación que revela su mejora al proceso constructivo, reducción de costo y mejora de las propiedades físicas.

b) Proceso de fabricación

Son un conjunto de filamentos fabricados (ver en la Fig. N° 11) de acero trefilado en frío de primera calidad tipo 1006 bajo carbón con una resistencia a la tensión de 1072 N/mm<sup>2</sup>, cumpliendo la normativa ASTM 820. En un kilogramo podemos tener la presencia de 2800 fibra de acero.



Figura N° 11: Fibras de acero Z aditivos

Fuente: Especificaciones Técnicas del Dramix 3D – Z aditivos

Z aditivos nos presenta las características técnicas que tienen las fibras de acero:

- Tensión a la ruptura: 1200 MPA (ACI 544-3R-08)

- Alargamiento a la ruptura: 4%
- Módulo de elasticidad: 210000 MPa
- $1 \text{ kg/Cm}^2 = 0.0980065 \text{ M PA} = \text{Resistencia} = 815.77 \text{ Kg/Cm}^2$
- Losas: Relación entre largo y el diámetro =  $80/60\text{Largo}$

### 2.2.2.3 Forma y Tipos

#### a) Forma

Mármol 2010, nos dice que las fibras de acero se pueden presentar en formas muy variadas (ver en la Fig. N° 12) como: corrugadas, rectas, onduladas, con extremos conformadas y dentadas, y esté a su vez presenta secciones variables (ver en la Fig. N° 13) circulares, cuadradas, rectangulares y planas.

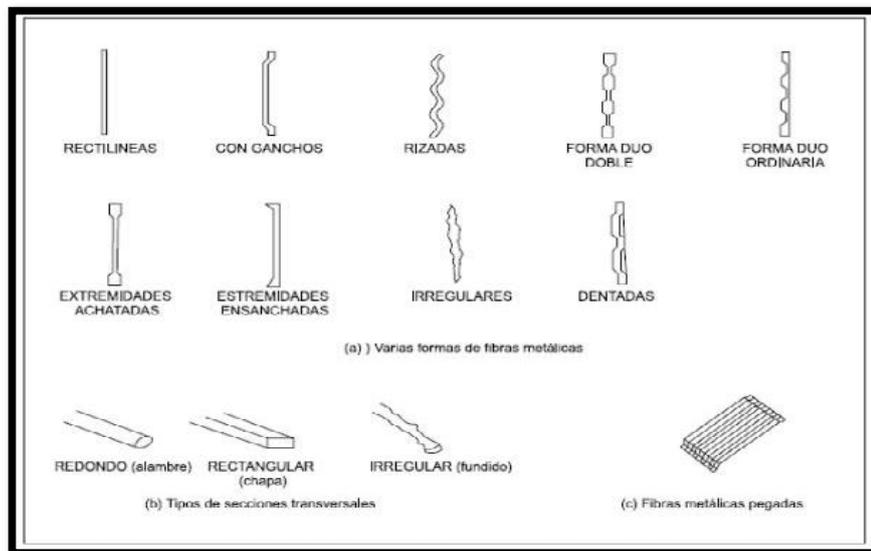


Figura N° 12: Formas de fibra de acero

Fuente: MACCAFERRI

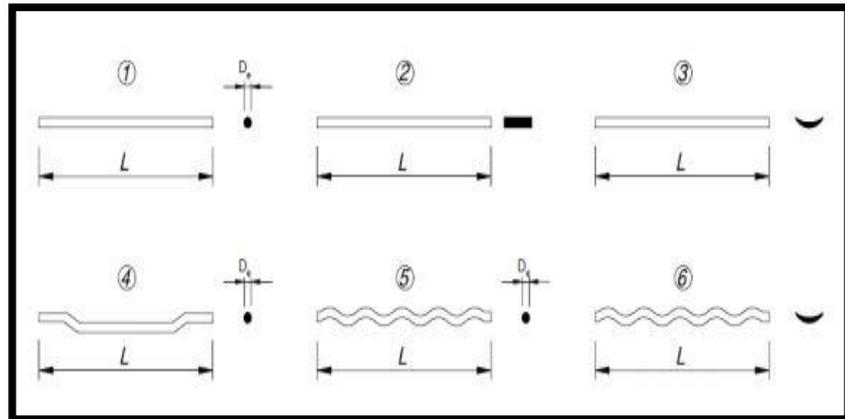


Figura N° 13: Secciones de la fibra de acero

Fuente: MACCAFERRI 2019

b) Tipos

Irás 2015, nos manifiesta que las características geométricas son la longitud L y el diámetro equivalente  $D_e$  (ver en la Fig. N° 14), y de esta relación se obtiene la relación de aspecto,  $\lambda = L/D_e$ , esbeltez.

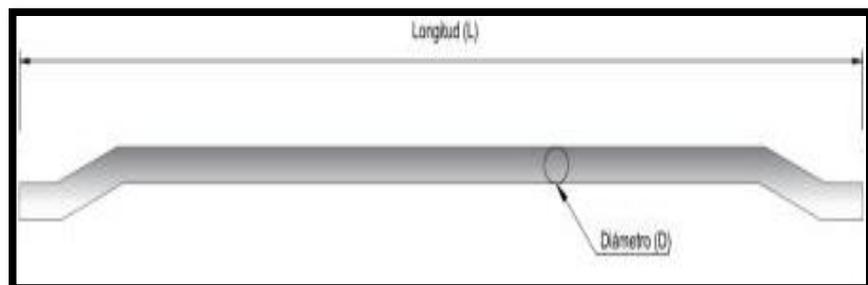


Figura N° 14: Fibra metálica de acero

Fuente: MACCAFERRI 2019

ASTM 820, nos hace presenta la clasificación del tipo de fibras, basado al procedimiento de fabricación.

) Grupo I. Alambres estirados en frío

Las fibras rectas estiras y deformadas estiradas en frío establecen la siguiente relación:

$$\lambda = \frac{l}{d} = \frac{l}{d}$$

En donde:

= Relación de aspecto de la fibra

l o ln = Longitud de la fibra

d = Diámetro de una fibra circular

De = Diámetro de una fibra de sección diferente a la circular

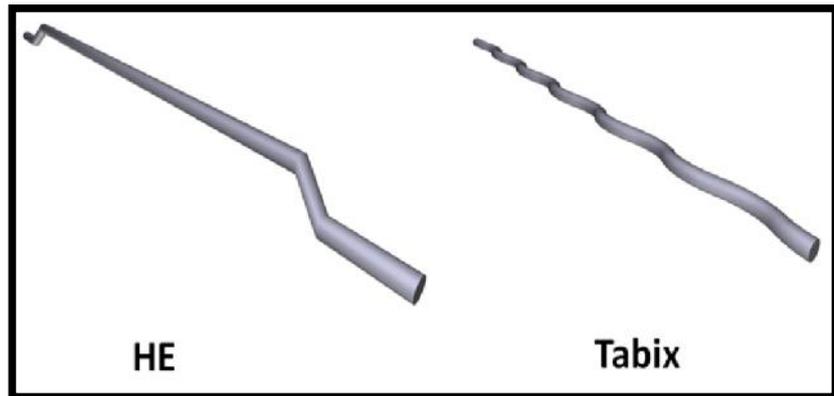


Figura N° 15: Fibra deformada en los extremos

Fuente: MACCAFERRI 2019

## ) Grupo II. Laminas Cortadas

Son los que están especificadas por su ancho, longitud y espesor; la relación de aspecto que tienen es:

$$\lambda = \frac{l}{D} = \frac{l}{\frac{4A}{\pi}} = \frac{1}{4 \frac{t * w}{\pi}}$$

En donde:

= Relación de aspecto de la fibra

l = longitud de la fibra

De = Diámetro de una fibra diferente a la circular

A = Área de la sección transversal de la fibra (t\*w)

t = Espesor de la fibra

w= ancho de la fibra

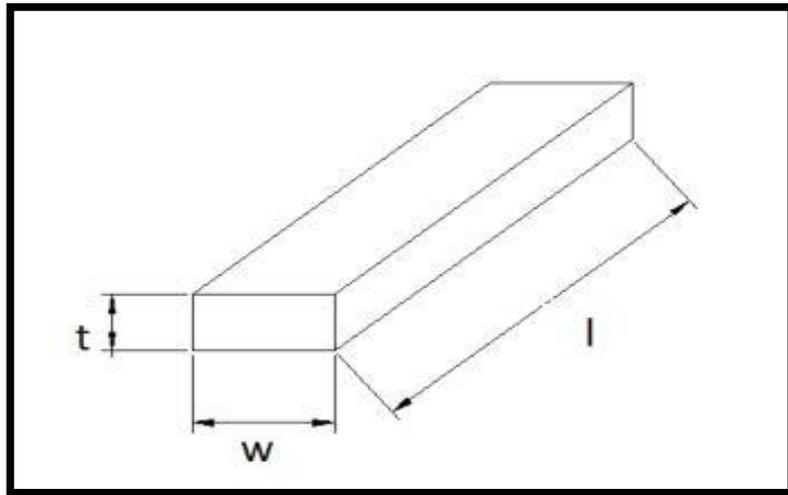


Figura N° 16: Fibras de láminas cortadas

Fuente: ASTM 820

- ) Grupo III. Extractos fundidos y Grupo IV. Conformados en frío  
 Las fibras que son de fundición como los conformados en frío son detalladas por un rango de diámetro equivalente ( $d_e$ ), de su longitud ( $l$ ), y el peso es una cantidad conocida según las especificaciones según cada proveedor.

#### 2.2.2.4 Propiedades

La fibra tiene como principal función de refuerzo a la tracción en el concreto hidráulico y su eficacia para transmitir las tensiones generadas dependen de varios factores, especialmente de las características físicas y mecánicas de las fibras que cumplen los siguientes parámetros:

- ) Longitud de la fibra ( $L_f$ )  
 Marmol 2010, manifiesta que, si aplicamos un esfuerzo de tracción, en los extremos de la fibra no existe transmisión de carga y esto genera un patrón de deformación. A su vez nos menciona que si queremos aumentar la resistencia y rigidez de un concreto hidráulico existe una longitud de la fibra que es la  $L_c$  longitud crítica y ésta depende del diámetro  $d$ , resistencia a la tracción  $f$  y resistencia al cizallamiento de la matriz  $T_c$ .

Caballero 2017, nos indica que los resultados óptimos se consiguen cuando la longitud de la fibra es aproximadamente igual al doble del tamaño máximo del agregado. Además, es recomendable que el tamaño máximo del agregado grueso empleado no sea superior a 20mm

Cañette, Eguren, & García (2017) mencionan que, si las fibras se presentan muy largas presentaran dificultades de mezcla en un estado fresco y presencia de porosidad en un estado endurecido, por otro lado, las fibras cortas no permiten una buena adherencia entre el concreto y la fibra, el cual es un factor importante para transmitir los esfuerzos.

J) Esbeltez o ratio de la fibra ( )

Podemos definir que el parámetro de esbeltez se obtendrá entre la relación que existe entre la longitud de la fibra y el diámetro equivalente de la fibra (Lf/df).

Yataco 2020, manifiesta que este parámetro tiene influencia en el comportamiento del concreto, que a mayor esbeltez de las fibras son más eficientes en el control de fisuración

Fibras de acero SUPERCAM 2020, nos muestra esta relación de esbeltez de acuerdo con la longitud de la fibra en sus productos comercializados, y la influencia de esto para calcular la cantidad aproximada de fibra por kilogramo de producción.

Tabla N° 1: Tipos de fibra SUPERCAM 2020

Referencia	(L) Longitud (mm)	(D) Diámetro (mm)	( ) Relación de aspecto	Cantidad aprox. Fibra/kg	Resistencia a la tracción prom. (Mpa)
FR 45	50	1.05	45	2.681	860
FR 65	60	0.90	65	3.194	760
FR 80	60	0.75	80	4.806	760
FR 60	35	0.60	60	19.660	8.60

Fuente: SUPERCAM 2020

) Módulo de elasticidad o módulo de Young de la fibra

La fibra brinda un refuerzo al concreto hidráulico y esto lo podemos observar a través del módulo de elasticidad, toda vez que es un parámetro que controla la presencia de fisuras y grietas en una losa.

Badell (2016) nos manifiesta que solo cuando el módulo de elasticidad de la fibra es al menos 3 veces mayor que el módulo de elasticidad del concreto, se obtiene un mejor control de la longitud y apertura de fisuras.

Tabla N° 2: Módulos de elasticidad BEKAERT

MATERIAL	MODULO DE YOUNG GPa
Concreto	30
Fibra Metálica	210
Macro fibras sintéticas	3-10
Microfibras sintéticas	+/- 4

Fuente: INDUSTRIAS BEKAERT

Según la Tabla N° 2 observamos que la fibra metálica tiene 7 veces mayor el módulo de elasticidad en función al concreto y es superado por gran escala a las fibras sintéticas, concluyendo que si deseamos controlar las fisuras el mejor material a incorporar al concreto será la fibra metálica.

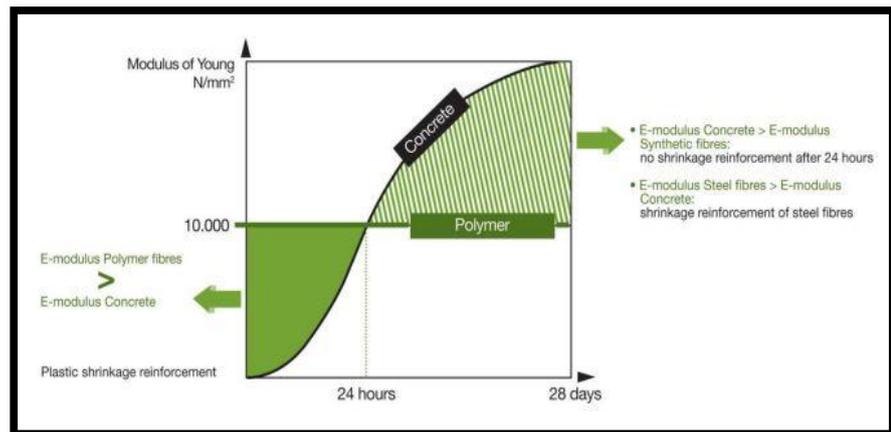


Figura N° 17: Gráfico comparativo del Módulo de Young

Fuente: INDUSTRIAS BEKAERT

) Resistencia a tracción de la fibra ( $\sigma_{\text{áx}}$ )

Es la carga máxima a la tensión que puede soportar la fibra metálica.

Blanco (2008) menciona que la resistencia a tracción de las fibras varia por la calidad del acero, la fibra presenta una variación entre 400 y 2000 MPa esto dependerá del contenido del carbono que tiene, siendo este tipo de fibras adecuadas especialmente para concretos de alta resistencia.

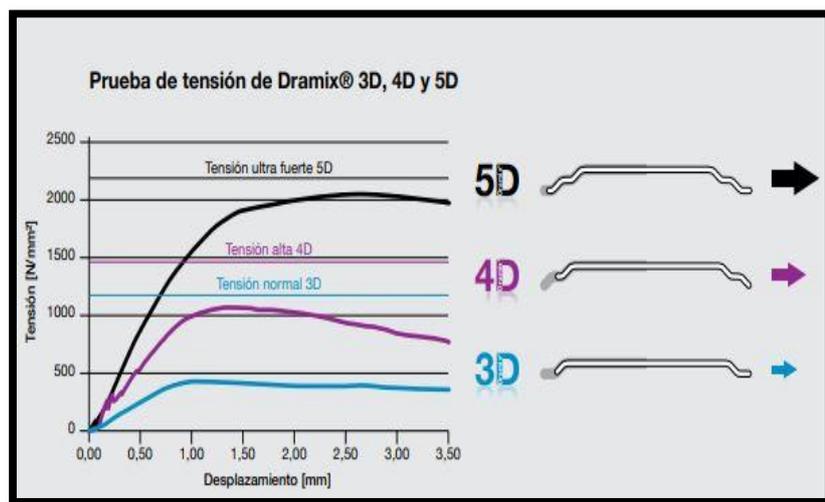


Figura N° 18: Esfuerzos a la tensión de los tipos de fibra de BEKAERT

Fuente: INDUSTRIAS BEKAERT

) Dosificación de la fibra

LACCEI 2019, menciona que dosificar o diseñar una mezcla de concreto de alta resistencia con adición de fibra metálica es detallar de forma clara los componentes que conforman el concreto hidráulico como los agregados finos como gruesos, agua, cemento, fibra y aditivos; con el objetivo de alcanzar una mezcla homogénea con una adecuada trabajabilidad, y que al endurecerse cumpla con las características de durabilidad y resistencia necesaria a cumplir para losas de pavimento rígido con  $MR= 4,5$  MPa

LACCEI en su informe concluye que la cantidad de fibra óptima para un  $MR= 4,5$  MPa es de 20-25 kg/m<sup>3</sup>, sin embargo, manifiesta que mientras mayor sea el volumen de fibra que se agregue al concreto hidráulico esté disminuye en la trabajabilidad y aire comprimido.

## J) Adherencia fibra-matriz

Caballero (2017) afirma que esta propiedad es importante al tener contacto con el concreto hidráulico, ya que cuando se produce la fisuración; las fibras forman una red que retrasa la rotura, incrementando la ductilidad del concreto. Las fibras que no tienen anclajes son las que presentan menor adherencia por ende son más frecuentes a producir fallas en el concreto por rotura de la fibra.

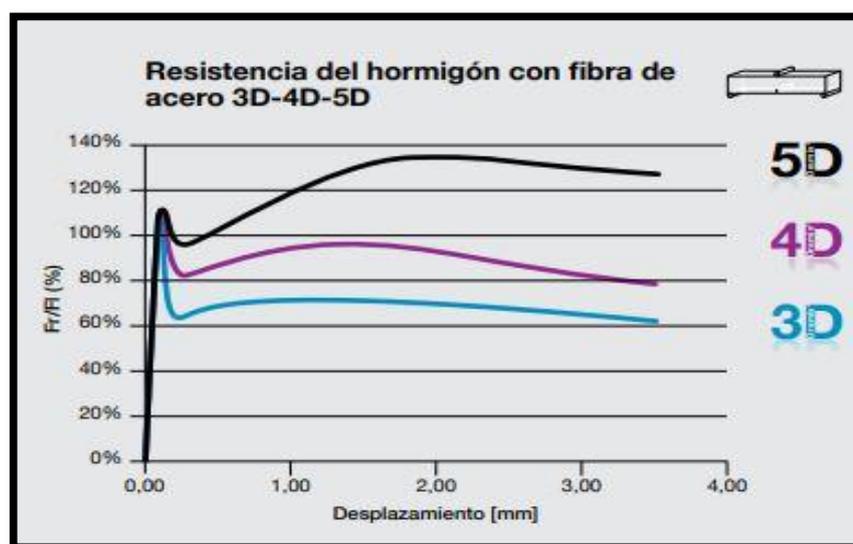


Figura N° 19: Resistencia del hormigón con fibra

Fuente: INDUSTRIAS BEKAERT

En la figura N° 19 se observa que en BEKAERT las fibras de 5D presentan mayor anclaje esto le da un gran beneficio al concreto al soportar mayores resistencias. Todo lo contrario, se observa en la fibra 3D.

### 2.2.2.5 Normativas Internacionales

Actualmente los proyectos realizados en Perú fueron diseñados en función a normativas internacionales, en el 2018 a través del peruano se decreta como aprobado la norma NTP-ISO 13270:2018 Fibras de acero para refuerzo de concreto. Definiciones y especificaciones. 1ª Edición

Tabla N° 3: Especificaciones Técnicas de la Fibra de Acero

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIÓN		REFERENCIA
Condición de la superficie	Seca y limpia, sin sustancias sucias, grasosas e inclusiones que puedan afectar el comportamiento de la consistencia del concreto con la fibra de acero. Rayaduras, irregularidades superficiales, óxido, laminilla u otros recubrimientos, no deben ser causa de rechazo, siempre que cumpla las propiedades de tracción y de doblado		<p>NTP-ISO 13270:2018 Fibras de acero para refuerzo de concreto. Definiciones y especificaciones. 1a Edición</p>
Requisitos de dimensiones y tolerancias (para rango > 30 mm)			
Desviación del valor individual con respecto al valor declarado			
Longitud y longitud desarrollada l (o ld)	Clase A	Clase B	
	± 3 mm	± 10 %	
Diámetro (equivalente) d	± 0,02 mm	± 10 %	
longitud / diámetro A	± 15 %		
Desviación del valor promedio con respecto al valor declarado			
Longitud y longitud desarrollada l (o ld)	Clase A	Clase B	
	± 5 %		
Diámetro (equivalente) d	± 0,0015 mm	± 5 %	
longitud / diámetro A	± 7.5 %		
Tolerancia para la resistencia a la tracción (Rm) del alambre de origen antes de la deformación (95 % de los especímenes individuales)	15 % (valores individuales) 7,5 % (valor medio)		
Doblado Edición (90 % de los especímenes individuales)	Alrededor de un pin de 3,0 mm de diámetro, a un ángulo de 90° a temperaturas no menores que 16 °C.		
Fuente: Diario Oficial el peruano			

Sin embargo, en nuestros países vecinos también se aplican normas para el uso de la fibra de acero (ver Tabla N° 4), normas que nos sirvieron en un inicio en los proyectos desarrollados en Perú, toda vez que este producto era comercializado como exportación.

Tabla N° 4: Normativas internacionales para la fibra de acero como refuerzo del concreto

<b>País</b>	<b>Normativa</b>
Brasil	CT303 IBRACON/ABECE
España	UNE-EN 14889-1
Colombia	NTC 5214
Japón	JSCE SF-6
ASTM	ASTM A 820
ACI	ACI-544

Fuente: Propia

#### 2.2.2.6 Fibras con otros componentes

Montalvo 2015, nos manifiesta que en la actualidad hay muchos tipos de fibras para comercializar y realizar experimentos, pero las básicas categorías son: fibras de acero, fibras sintéticas y fibras naturales.

BISFA (The International Bureau for the standardisation of Man-Made fibres), presenta un cuadro representativo de cómo se clasifican las fibras (Ver figura N° 20) y un cuadro con las propiedades de los diferentes tipos de fibra entre ellas las que más resaltan es el acero presentando mayor resistencia a la tracción y alargamiento en la ruptura.

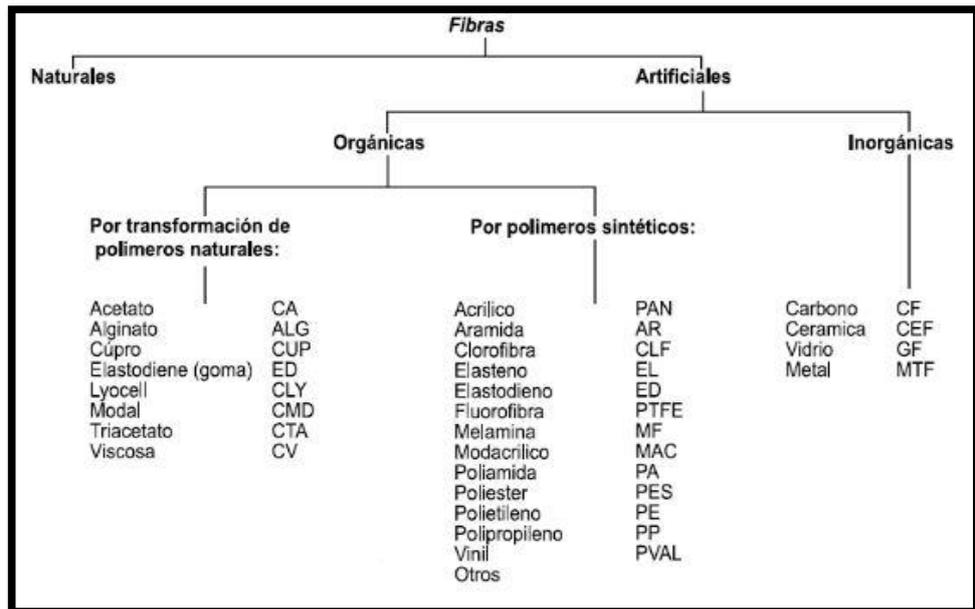


Figura N° 20: Tipos de Fibra MACCAFERRI

Fuente: Technical Data Sheet MACCAFERRI

Tabla N° 5: Principales propiedades de fibras de distinto materiales

<b>Fibras</b>	<b>Diámetro (um)</b>	<b>Densidad (Kg/m3)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (Kn/mm2)</b>	<b>Resistencia a la tracción (Kn/mm2)</b>	<b>Alargamiento en la ruptura (%)</b>
Acero	5-500	7.84	200	0.5-2	0.5-3.5
Vidrio	9-15	2.60	70-80	0.2-4	2-3.5
Amianto	0.02-0.04	3.00	180	3.30	2-3
Polipropileno	20-200	0.90	5-7	0.5-0.75	8
Nylon	-	1.10	4	0.90	13-15
Polietileno	-	0.95	0.30	0.0007	10
Carbono	9	1.90	230	2.60	1
Kevlar	10	1.45	65-133	3.60	2.1-4
Acrílico	18	1.18	14-19.5	0.4-1	3

Fuente: Technical Data Sheet MACCAFERRI

## 2.2.3 Losas industriales.

### 2.2.3.1 Definición

Tozzini (2020) Son estructuras de concreto que presenta características determinadas, entre ellos destaca su alta resistencia mecánica, química y al impacto, este tipo de losa está de diseñado para resistir usos rudos, es decir que puedan tolerar desemejante aplicación.

Bambaren 2020 nos indica que la construcción de losas industriales que tiene como principal finalidad almacenar los bienes, como máquinas, mercancía e incluso, recursos humanos. Así mismo, las losas industriales brindan soluciones constructivas y dentro de ellas se pueden realizar considerables actividades, ya que pueden servir para almacenamiento y producción. Por ello, es que cada vez es más común utilizar este elemento.

### 2.2.3.2 Tipos

El ACI 302 nos muestra un cuadro comparativo de los tipos de losa de concreto hidráulico donde se aprecia las clases de pisos en base a su uso y terminaciones técnicas.

CLASE	TIPO DE TRÁNSITO PREVISTO	USO	CONSIDERACIONES ESPECIALES	ACABADO FINAL
4.- Una Capa.	Superficie expuesta o cubierta. Tránsito peatonal o vehicular liviano.	Institucional o comercial	Losas plana y nivelada adecuadamente para la colocación de revestimientos, agregado antideslizante para áreas específicas, curado. Coordinar las juntas con los revestimientos aplicados.	Acabado normal con helicóptero
5.- Una Capa.	Superficie expuesta - tránsito vehicular industrial, es decir, ruedas neumáticas y ruedas sólidas moderadamente blandas.	Plantas industriales para la fabricación, procesamiento y almacenamiento.	Subrasante uniforme, distribución de juntas, resistencia a la abrasión, el curado.	Acabado con helicóptero pesado.
6.- Una Capa.	Superficie expuesta. Tránsito vehicular industrial pesado e intenso, es decir, ruedas rígidas y cargas elevadas de ruedas.	Pisos industriales sometidos a tránsito pesado; puede estar sometido a cargas de impacto.	Subrasante uniforme, distribución de juntas, transferencia de carga, resistencia a la abrasión, curado.	Endurecedor superficial metálico o mineral, acabado superficial con helicóptero pesado.
7.- Dos Capas.	Superficie expuesta - tránsito vehicular industrial pesado e intenso, es decir, ruedas rígidas y cargas elevadas de ruedas.	Pisos en dos capas adheridas sometidas a tránsito pesado y cargas de impacto.	Losa Base - subrasante uniforme, reforzada, distribución de juntas, nivel superficial, curado. Recubrimiento agregado mineral o metálico bien graduado, espesor mínimo 19 mm. Aplicación de endurecedor superficial de árido mineral o metálico, curado.	Limpio, superficie de losa de base texturizada adecuada para la colocación del recubrimiento adherido. Acabado con helicóptero pesado.

Figura N° 21: Clases de pisos industriales

Fuente: Manual de Pisos Industriales Chile

Según el ACI las losas industriales están clasificadas en nueve clases, en la figura 21, seleccionamos las clases 4 al 7 donde se consideran que los usos que se dan en esta clasificación son para zonas comerciales, losas industriales sometidos a tránsito pesado y cargas de impacto.

Así mismo dentro de las consideraciones especiales en esta clase de losas lo principal es velar por una subrasante uniforme y losas planas, toda vez que son expuestas a cubiertas o tránsito vehicular y peatonal.

Para culminar nos dan a conocer el tipo de acabado final que deben tener estas losas, para ello en esta clase se solicita el uso de alisadoras o helicópteros pesados, y en algunos casos como es la clase 6 y 7 adherir un endurecedor o textura de manera superficial.

#### 2.2.3.3 Planimetría en losas industriales

La planimetría es uno de los factores principales para el diseño de toda losa industrial puesto que tiene un gran efecto esto se relaciona a los equipos de transporte y cargas con las que transitan por estos pavimentos. Si la carga se almacena en zonas de mayor altura, esto requiere una mayor planicidad o regularidad superficial.

Mientras se busca mayor regularidad en la superficie el costo del pavimento puede aumentar casos prácticos que se desarrollan son las losas plan y super planas.

Bambaren 2020, nos indica que para conseguir un acabo y superficie exitosa en estos tipos de losas, se requiere de variaciones con el revestimiento, relación agregados – cemento-agua, temperatura de la mezcla y los aditivos que se le incorpore.

Los factores que afectan a que se cumpla con una regularidad superficial en una losa industrial, son aquellas que tienen un tránsito con trayectorias determinadas, esto porque son guiados por perfiles metálicos o inducción magnética, esto lo podemos apreciar en industrias con pasillos muy estrechos y de altura variables.

Las causas que generan una mala planimetría son inestabilidad en los equipos que generan izaje o levante de materiales.

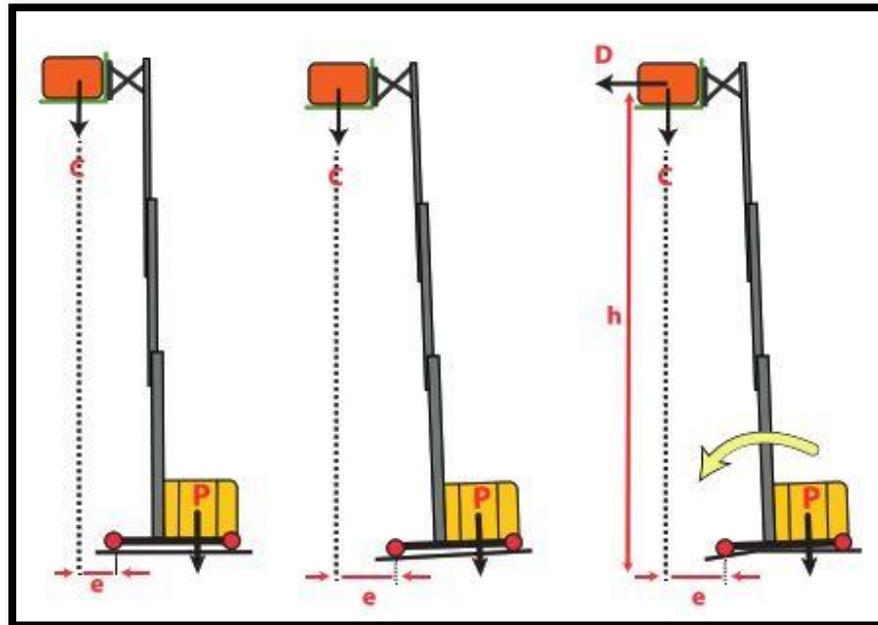


Figura N° 22: Estabilidad de equipos de izaje o levante

Fuente: Manual de diseños de pavimentos industriales Chile

La inestabilidad de una planimetría genera momentos solicitantes y como efecto a ello volcadura en del equipo, y si el equipo estuviera en movimiento producirían esfuerzos dinámicos aumentando el efecto de volcamiento.

Estos casos se pueden presentar ya sea en el sentido lateral o longitudinal, es por ello por lo que se recomienda una verificación con varias tomas de niveles en ambas secciones.

a) Sistema de Números F (Floor numbers) Números FF y FL para transito aleatorio

ASTM 1155M nos indica que, este sistema sirve para medir la regularidad de la superficie para ello utilizará dos parámetros

) FF (floorflatness)

Servirá para definir la planicidad y controlar las irregularidades y ondulaciones en las losas, evaluaremos la diferencia de elevación a lo largo de una línea de muestra a intervalos cortos, Los números F muestran valores desde cero en adelante.

) FL (floorlevelness)

Servirá para definir la nivelación u horizontalidad, evaluaremos la diferencia de elevación a lo largo de una línea de muestra a intervalos cortos.

Los números F varía normalmente entre 10 y 100, mientras más alto sea el número se considera que la losa industrial es más plana y con mayor nivelación u horizontalidad (ver Tabla N° 6).

El método de evaluación de planicidad de losas con los números F presenta beneficios favorables como:

Tabla N° 6 Clasificación general de pisos según los números F

<b>REGULARIDAD</b>	<b>Ff</b>	<b>Fl</b>	<b>Uso Típico</b>
Corriente	20	15	No críticos: talleres mecánicos, áreas no públicas
Normal	25	20	Áreas alfombradas de oficinas o ligero tránsito
Plana	35	25	Pisos de bodegas con tránsito medio a pesado
Muy Plana	45	35	Almacén de uso de pallet aéreos, pisos de gimnasio, etc
Super Plana	>50	>50	Estudios de cine o televisión

Fuente: Manual de diseño de losas industriales Chile

) Controla amplitud y longitud de onda en las imperfecciones, es decir la planicidad de la losa.

) Controla la nivelación es decir su horizontalidad.

) Es un método de medida sencillo, normalizado, muy bien definido y reconoce la naturaleza estadística del ensayo.

) Permite catalogar muy fácilmente los pavimentos mediante dos números.

- ) Permite evaluar resultados parciales, quiere decir que podemos analizar defectos mientras vamos construyendo, permitiendo al ejecutor modificar o ajustarse a las especificaciones dadas.
- ) Facilita la recepción de las obras y permite establecer multas y premios según sean las especificaciones establecidas y los resultados obtenidos.

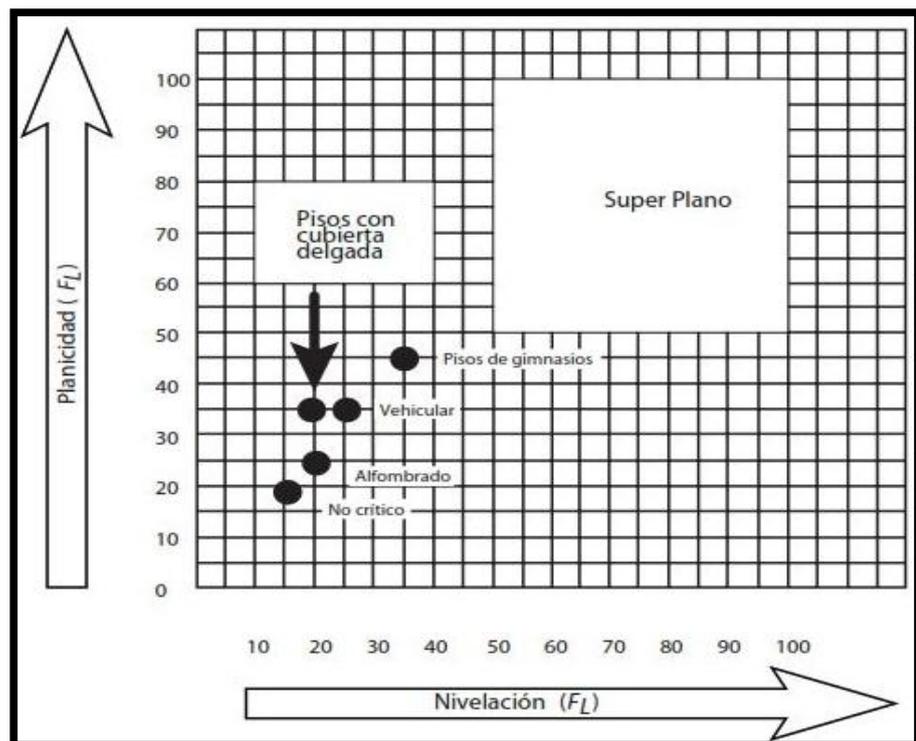


Figura N° 23: Clasificación de las losas según los números F

Fuente: American Concrete Institute

#### 2.2.3.4 Sistemas aplicados

Las losas industriales poseen mecanismos para conseguir una efectividad en la producción algunas de ellas se mencionan a continuación:

##### a) Sistema de tránsito automático AGV

Granados & Gonzales 2017, nos indica que un AGV es un mecanismo de transporte que no requiere de conductor, utilizado especialmente para el transporte de material dentro de la fábrica principalmente para el

transporte de material dentro de la fábrica y es considerado como el medio más apropiado para manejar una producción flexible logrando de esta manera una producción flexible.

Los AGV tienen dentro de sus componentes una plataforma de ruedas que permiten su desplazamiento, un microprocesador que controla sus acciones y una batería integrada que permite su traslado de forma inalámbrica.

El principal beneficio de un AGV en una línea industrial es la reducción de costos de mano de obra, movimiento de material, evitar daños a las piezas y mantener una velocidad adecuada.

#### ) Carril magnético – filoguiado

Chumpitaz 2019, indica que los filoguiados son los caminos donde el vehículo recorrerá, estos suelen ser los mismos tramos y son guías inductivas que se insertan en el piso.



Figura N° 24: Sistemas de AGV de SSI SCHAEFER

Fuente: SCHAEFER 2021

### 2.2.3.5 Métodos de diseño

Para diseñar losas de pavimento rígido existen una serie de metodologías ya sea para losas de concreto simple como para losas con refuerzo. El objetivo es conseguir el dimensionamiento adecuado para el espesor de la losa.

Todos los diseños fueron establecidos en la ACI – 360R-10 (ver Tabla N° 7)

Tabla N° 7: Diseños según ACI-360R-10

<b>Métodos para diseño de Pavimento</b>	
J	Método de Diseño de la Asociación Cemento Portland (PCA)
J	Método de Diseño del Instituto de Refuerzo con Cable (WRI)
J	Método de Diseño del Cuerpo de Ingenieros, COE
J	Pavimento con acero reforzado
J	Pavimento post tensado

Fuente: Manual de diseño de losas industriales Chile

Podemos resaltar que fuera del ACI también podemos diseñar con el método TR-34 que es comúnmente usado para el diseño de losas con refuerzo de fibra de acero, estos dos métodos pueden ser verificables a través del programa PAVE 2008, solo siempre en cuando el pavimento es reforzado con fibra de acero, tal como la metodología TR-34, el software ejecuta las verificaciones de los Estados Límites de Servicio y Últimos, como también la verificación al punzonamiento.

#### a) Método de Diseño de la Asociación Cemento Portland (PCA)

Este método presenta dos criterios de evaluación, el desgaste de la subbase y la fatiga del pavimento de concreto. El primero se puede dar por deterioro del terreno de soporte y por desniveles en las juntas, el segundo manifiesta su falla por presentar agrietamiento por repeticiones excesivas.

En este método se considera, razón de poisson  $\nu = 0.15$ , y un módulo de elasticidad de hormigón  $E_h = 4.000.00$  psi; (28 000 MPa).

Montalvo 2015, para el diseño de pavimentos rígidos apoyados sobre el suelo, se suelen diferenciar 2 tipos de cargas más comunes a las que está sometido el elemento, que son vehiculares y estanterías.

) Cargas Vehiculares:

Para el PCA, para hallar el espesor de una losa sometido a cargas vehiculares tenemos que evaluar lo siguiente.

I. Cálculos de esfuerzos bajo cargas de servicio

Unión de los Agregados y Transferencia de esfuerzos de dowells

$$WS = (MR / (SF * JF))$$

Donde:

MR: Resistencia a la flexión MPa

SF: Factor de Seguridad

JF: Factor de Junta

II. Cálculo de los esfuerzos por cada KN por eje cargado

Unión de los Agregados y Transferencia de esfuerzos de dowells

$$\frac{WS}{\text{Carga por eje, KN}}$$

A estos datos obtenidos se le agrega, el espaciamiento entre llantas (milímetros), área efectiva de contacto (cm<sup>2</sup>) y el coeficiente de la subrasante (Mpa/m). Datos que servirán en los ábacos de transferencia de esfuerzo en las juntas de 0% y 100 % (ver Figura N° 25 y N° 26) y del nomograma para cargas vehiculares (ver Figura N° 27).

Como resultado de estos ábacos tendremos los espesores de losa en función a la unión de los agregados y a la transferencia de esfuerzos de dowells.

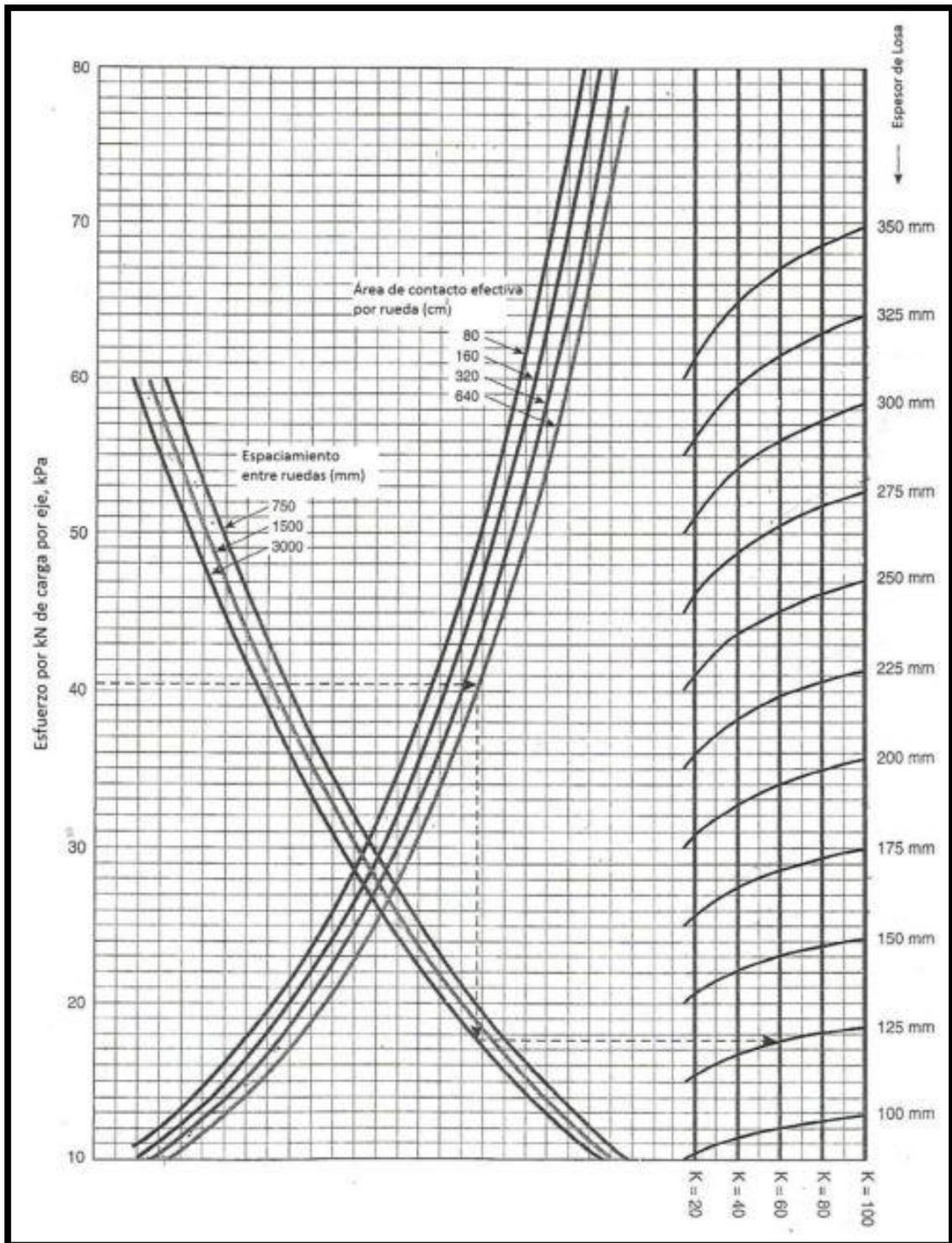


Figura N° 25: Ábaco de transferencia de esfuerzo en las juntas al 100 %  
 Fuente: Concrete Floors on Ground, PCA

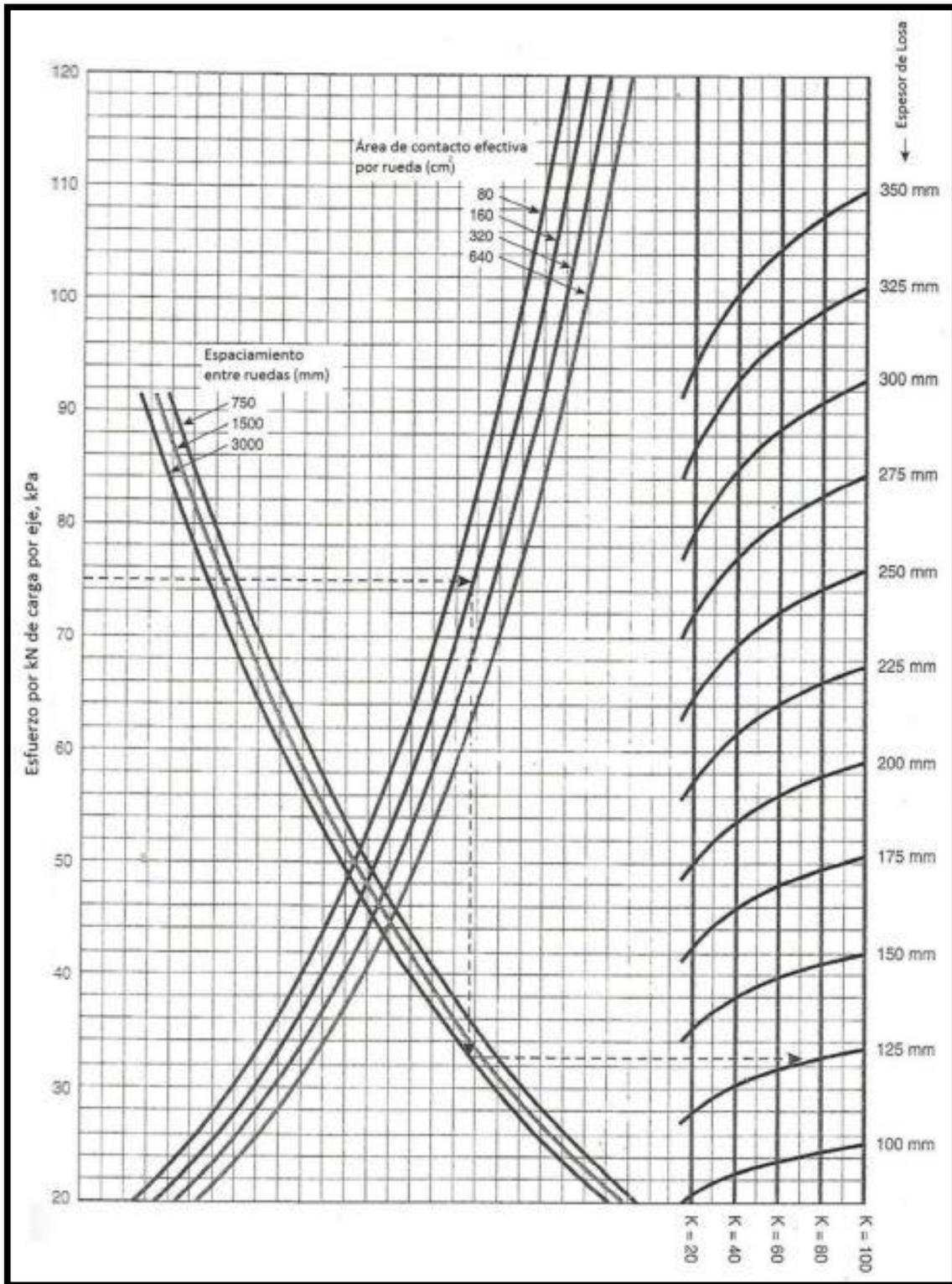


Figura N° 26: Ábaco de transferencia de esfuerzo en las juntas al 0 %

Fuente: Concrete Floors on Ground, PCA

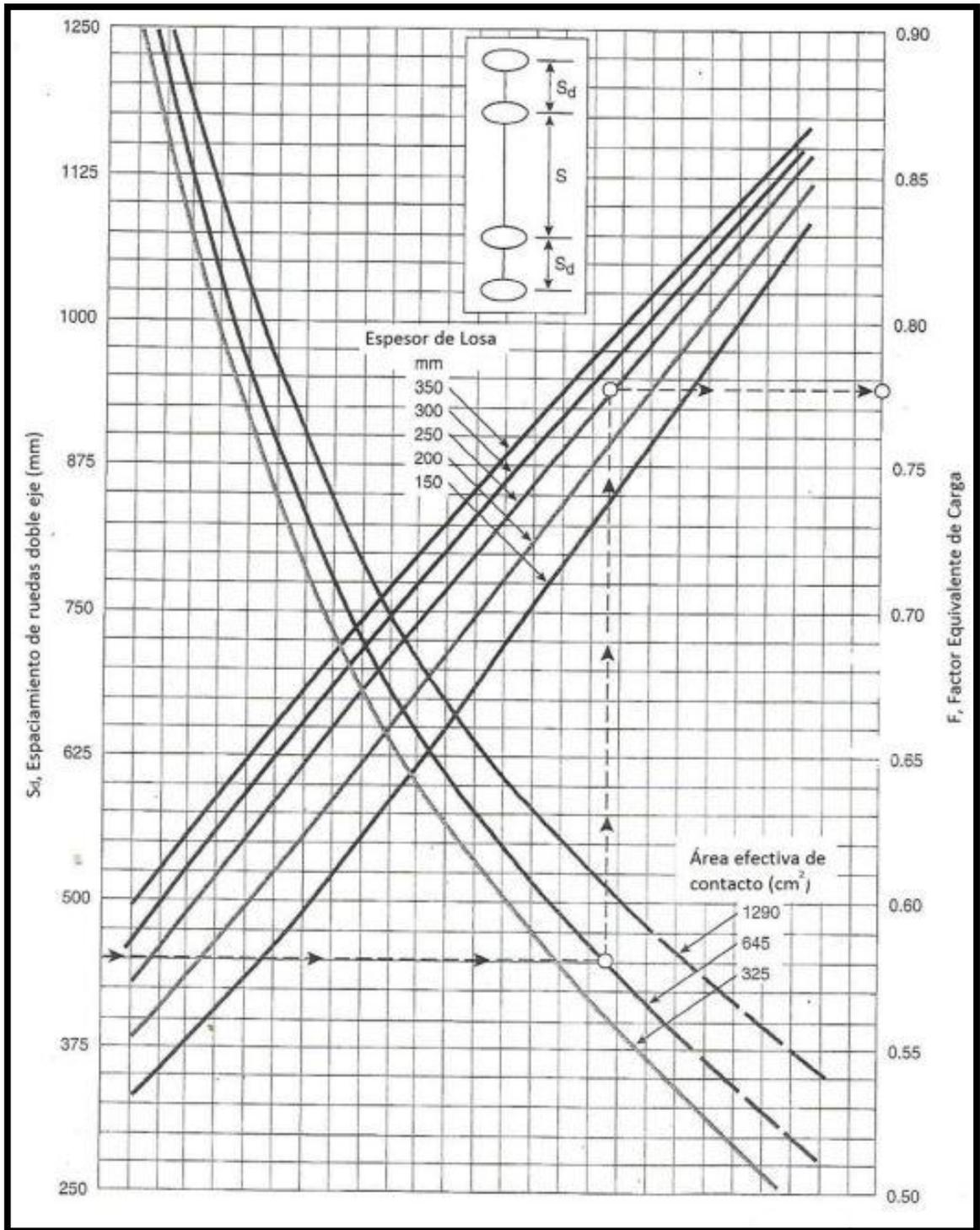


Figura N° 27: Ábaco de espesor de losa para cargas vehiculares

Fuente: Concrete Floors on Ground, PCA

## J Cargas puntuales

Para el diseño de cargas puntuales, se utilizan estanterías o racks, el sistema de cálculo es el mismo que para cargas vehiculares, sin embargo, hay algunas variables que considerar

Montalvo 2015, no indica que una de las variables es el factor de seguridad, que tiene una variación de 1.5 a 5, esto se da de acuerdo con la importancia del poste, si es estructural se considera un factor de seguridad alto de no serlo será lo contrario [...]

También nos indica que las cargas en los bordes son mayores, ocasionando fisuramiento grave, teniendo que ser modificado por el factor de junta [...]

Por último, manifiesta que, si se desea diseñar para cargas vehiculares que poseen en sus ejes llantas dobles, primero se basará a la norma para convertirlo a una de eje de llanta simple, luego se procede a multiplicar por el factor F y con este valor podremos hallar el espesor de la losa.

## J Refuerzo con malla de acero al pavimento

El pavimento puede ser reforzado con barras de acero convencionales o mallas electrosoldadas, su principal función de este refuerzo es contener las fisuras aleatorias que aparecen en la losa.

Tabla N° 8: Condiciones para el uso de refuerzo en el pavimento

<b>¿El refuerzo es necesario?</b>	
<b>NO</b>	El soporte es uniforme, espaciamiento de juntas cortas y retracción del concreto
<b>SI</b>	Cuando el espaciamiento de juntas es largo Cuando la resistencia a la contracción del concreto es alta Cuando no se puede usar juntas en el pavimento
<b>SI</b>	Concreto que tenga compensador de retracción

Fuente: Concret floors on ground, PCA

Mientras más refuerzo se usa mejor contención se dará a las fisuras y se minimiza la cantidad de juntas en el pavimento. Así mismo una buena distribución del acero lograra que las fisuras se contengan y emitan su transferencia a través de la unión de los agregados.

El refuerzo de acero debe tener un recubrimiento adecuado para ello se solicita que se encuentre a 15 mm de la cara de la rasante y a 1/3 de la superficie de la losa.

El ACI 360 a través de la siguiente fórmula determina la cantidad de acero de refuerzo que se requiere.

$$A_s = \frac{L * C_f * w * h}{K * f_s}$$

Donde:

As: Área de acero distribuido requerido por una unidad de losa mm<sup>2</sup>/m.

L: Distancia entre las juntas, m.

Cf: Coeficiente de la subrasante, resistente movimiento de la losa (el valor más usado para losa sobre apoyadas en la tierra es 1.5)

w: Densidad del concreto, comúnmente 2320 kg/m<sup>3</sup>

h: espesor de la losa, mm.

K: 204 es usado en el sistema internacional.

Fs: Esfuerzo de tensión permisible del acero, por ejemplo, para el acero de grado 60 se utiliza 280 Mpa.

Por estudios comunes recomienda tener una cantidad mínima de acero que es 0.1% del área de sección.

#### b) Reporte técnico (TR 34)

Montalvo 2015, nos indica que este refuerzo analiza el estado plástico, por ello requiere que la losa tenga una adecuada ductilidad, esto se obtiene con una dosificación adecuada de fibras de acero o refuerzo de malla de acero, que mejora la losa ante un post agrietamiento.

Otra situación para tener en cuenta es las cargas en los bordes o esquinas, se debe considerar una gran transferencia de cargas sobre las losas.

En el Concrete Society Technical Report N°34 presentan los siguientes parámetros de concreto para tener en cuenta.

Tabla N° 9: Parámetros del concreto

	<b>N/m2</b>	<b>Kg/cm2</b>	<b>N/m2</b>	<b>Kg/cm2</b>	<b>N/m2</b>	<b>Kg/cm2</b>
<b>Fcu</b>	20.60	210.00	24.03	245.00	27.47	280.00
<b>Fcm</b>	28.60		23.03		35.47	
<b>Fctm</b>	2.25		2.50		2.73	
<b>Fctk (0.05)</b>	1.58		1.75		1.91	
<b>Ecm</b>	30.15		31.20		32.16	

Fuente: Concrete Society Technical Report N°34

Donde:

Fcu: Resistencia a la compresión en un testigo de forma cúbica

Fck: Resistencia a la compresión en un testigo de forma cilíndrica

Fcm: Resistencia a la compresión media en un testigo de forma cilíndrica

$$f_c = f_c + 8$$

Fctm: Resistencia a la tracción axial media

$$f_{ct} = 0.3 * f_c^{2/3}$$

Fctl (0.05): Resistencia a la tracción

$$f_{c(0.05)} = 0.7 * f_{ct}$$

Ecm: Módulo de elasticidad

$$E_{cm} = 22 \frac{f_c^{0.3}}{10}$$

Fctk, fl: Resistencia a la flexión del concreto plano

$$f_{c,fl} = 1 + \frac{200^{0.5}}{h}$$

$$f_{c,0.0} \leq 2 f_{c,0.0}$$

Donde h: espesor de losa

Para las fibras de acero, se toma la resistencia a la flexión o  $R_{e,3}$  este dato se obtiene en función a la dosificación (ver Tabla N° 10)

Tabla N° 10: Resistencia a la flexión de las fibras de acero

Dosificación de la fibra		$R_{e,3}$ (%)
Kg/m <sup>3</sup>	Lb/yd <sup>3</sup>	FF1
20	34	48
25	42	57
30	50	64
35	60	71
40	67	77
45	75	83
50	85	89

Fuente: Concrete Society Technical Report N°34

Así mismo se considera importante calcular el radio de rigidez relativa “I”, este mide la rigidez de la losa en función al suelo donde está apoyado, para obtener este dato dividimos la rigidez de la losa entre el módulo de reacción del suelo y a este resultado le afectamos por la raíz cuarta.

$$I = E_{cm} * \frac{h^3}{12 * (1 - v^2) * k}^{0.2}$$

Donde:

$E_{cm}$ : Módulo de elasticidad del concreto (N/mm<sup>3</sup>)

H: Peralte de la losa (mm)

v: Módulo de poisson

Al igual que en el PCA el TR N° 34 evaluará los factores de seguridad de la losa para estanterías o racks y cargas vehiculares (montacargas).

) Cargas puntuales (racks o estanterías)

Con los cálculos previos, de la resistencia a la flexión y la rigidez relativa, procedemos hallar la capacidad de la losa para momentos negativos y positivos.

$$M_n = \frac{f_c \cdot I}{\gamma_c} * \frac{h^2}{6}$$

$$M_p = \frac{f_c \cdot I}{\gamma_c} * \frac{h^2}{6} * R_{e,3}$$

Así mismo tener los siguientes datos, sección de la base (mm<sup>2</sup>), separación entre ejes (mm), factor de seguridad Fs= 1.35, radio equivalente (mm)

Con el radio equivalente procederemos a operar una división con el radio de rigidez relativa (a/l) y de esta forma corroborar en función a este dato si el cálculo de las cargas está dentro de lo estipulado con la carga ultima actuante (ver Tabla N° 10).

Tabla N° 11: Fórmulas para cálculo de cargas

Tipo	Relación	Pu
Cargas Internas	a/l= 0	$P_u = 2\pi(M_p + M_n)$
	a/l= 0.2	$P_u = 4\pi * \left(\frac{M_p + M_n}{1 - a/3l}\right)$
Cargas en la Esquina	a/l= 0	$P_u = 2M_n$
	a/l= 0.2	$P_u = \frac{4M_n}{1 - a/l}$
Cargas en el borde	a/l= 0	$P_u = \pi \frac{M_p + M_n}{2} + 2M_n$
	a/l= 0.2	$P_u = \pi \frac{M_p + M_n + 4M_n}{1 - 2a/3l}$

Fuente: Concrete Society Technical Report N°34

Si la relación  $a/l$  tiene otro valor entre 0 y 0.2 procedemos hacer una interpolación y el valor obtenido debe ser mayor a la carga última actuante, así corroboramos que el diseño es correcto.

Cuando la carga es en la esquina se asume el 80 % de la carga última por la presencia de dowells.

) Cargas Vehiculares (montacargas)

En este método se consideran las mismas fórmulas que las cargas puntuales, la diferencia es el en F.S. se considera 1.60.

c) Software PAVE 2008

Este es un programa para poder verificar cálculos de piso y pavimentos en hormigón fibroreforzado con fibra de acero, los métodos de cálculo son elásticos y elasto-plástico. Y trabaja con cargas uniformes, lineales, concentradas, simple y doble, estanterías, montacargas y vehículos.

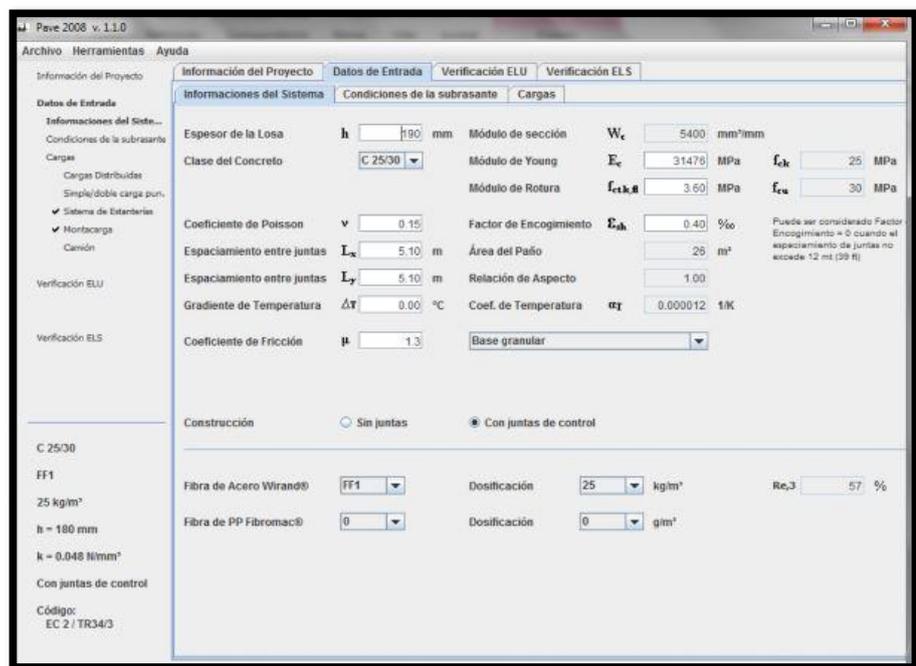


Figura N° 28: Sistema del Software PAVE 2008

Fuente: PAVE 2008

### 2.2.3.6 Sistema de Juntas

Con frecuencia podemos ver agrietamientos en losas como consecuencia de la restricción a los cambios volumétricos que experimenta el concreto en el proceso de fraguado, generándose tensiones de tracción en el hormigón. Así mismo el otro efecto de gran escala a la que está sometido una losa es el alabeo por diferenciales de temperatura y contracción de humedad propia de la losa. Para prevenir estos agrietamientos, podemos mencionar algunos mecanismos:

) Formación de juntas permite controlar el agrietamiento por retracción del fraguado.

) Uso de fibras permite realizar paños de mayor dimensión

Respecto a las juntas existen tres tipos que tienen un concepto y funcionalidad distinta, según su función, ubicación y condiciones de la obra.

a) Junta de contracción:

Según el ACI se recomienda para su diseño:

$$24D < \text{Espaciamiento} < 36D$$

Donde: D, es el espesor de la losa

Estas juntas se realizan con una cortadora de concreto teniendo una profundidad de  $\frac{1}{4}$  de espesor de la losa. En algunos casos estas juntas pueden o no tener dispositivos de traspaso de carga.

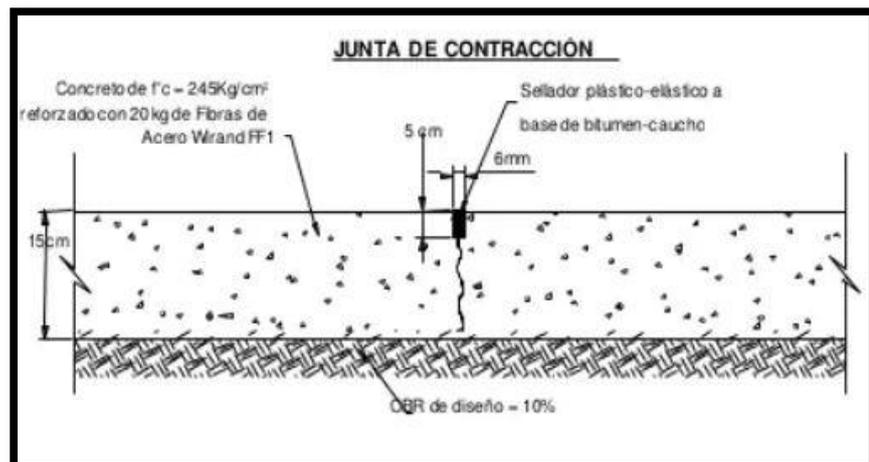


Figura N° 29: Juntas de contracción

Fuente: Maccaferri 2019

b) Juntas de Dilatación – Aislación

Este tipo de juntas se utiliza, para aislar la losa de elementos estructurales verticales como columnas o muros de tabiques que bordean o atraviesan por la losa.

A su vez evita que el concreto se agriete ante una posibilidad de cambios dimensionales de temperatura o cambios de espesor de losa, casos que podemos ver de losas industriales expuestas a la intemperie.

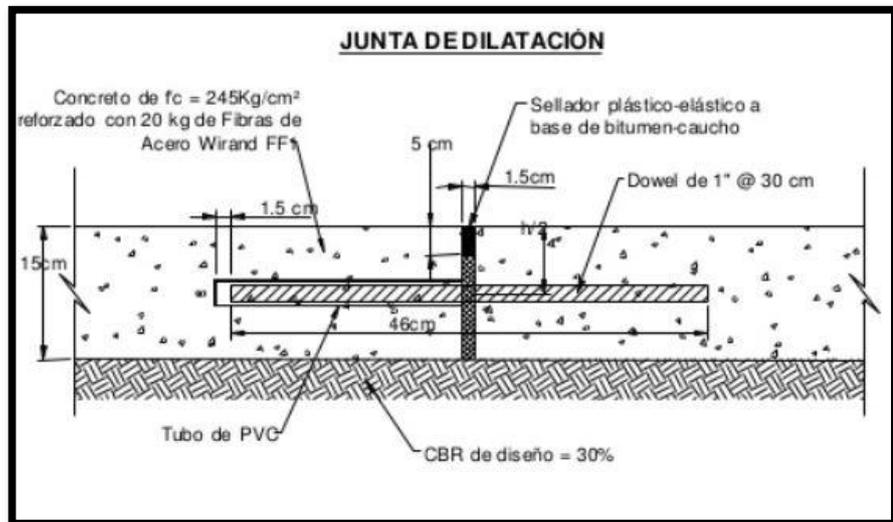


Figura N° 30: Juntas de dilatación

Fuente: Maccaferri 2019

c) Juntas de construcción:

Este tipo de juntas tendrá su presencia cuando se tiene planificado un vaciado en diferentes fechas, ya que buscará conseguir continuidad de refuerzo o adherencia, en estos tipos de juntas se suele usar dispositivos de transferencias de cargas.

En el caso de las juntas de construcción, se podrá conseguir una transferencia de carga adecuada si existen dispositivos de traspaso de carga. Para este efecto, los métodos más usuales son el uso de barras de traspaso de carga (cuadradas o circulares).

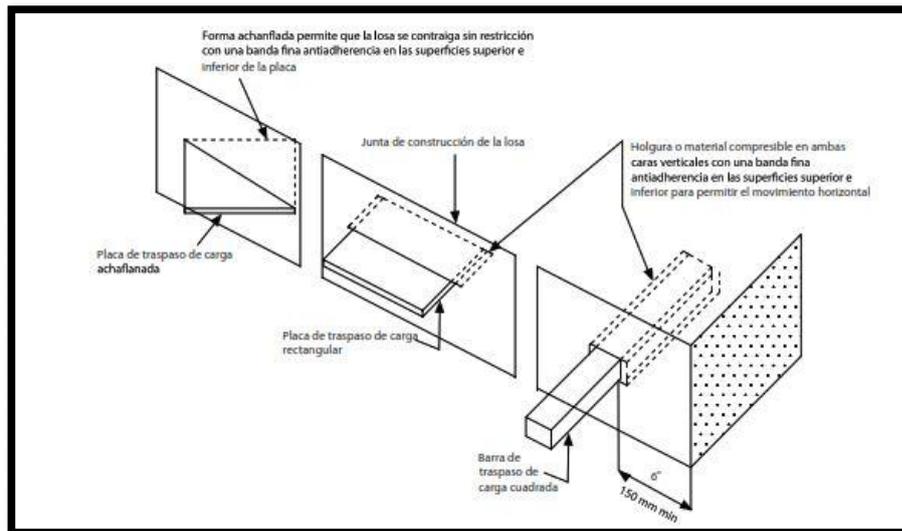


Figura N° 31: Dispositivos de traspaso de carga en juntas de construcción

Fuente: ACI – 360R-10

## 2.2.4 Pisos industriales con fibra de acero

### 2.2.4.1 Componentes

Los concreto reforzados con fibras de acero están constituidos esencialmente por los mismos componentes que un hormigón tradicional y adicionalmente fibras de acero. La inclusión de las fibras de acero, además de alterar el comportamiento del hormigón en estado endurecido, también lo hace en estado fresco, por lo que a algunos de los componentes se les exigen condiciones que en los concretos tradicionales no son necesarias.

En función de la cantidad de fibras que se van a adicionar al hormigón y de la geometría de estas, el material compuesto tendrá que sufrir ciertas modificaciones respecto de un hormigón tradicional. Estas modificaciones pasan principalmente por una limitación en el tamaño máximo de árido, menores valores de relación grava-arena, mayores cantidades de aditivos reductores de agua, y mayor demanda de finos, entre otros.

- ) Cemento
- ) Agua

- J Áridos
- J Aditivos
- J Adiciones (fibras de acero)

La tabla muestra el rango de proporciones para un SFRC según el ACI Committee 544 (2014)

Tabla N° 12: Rango de proporciones para un SFRC

Componentes de la mezcla	Tamaño máximo de árido (mm)		
	10	20	40
Cementos (kg/m <sup>3</sup> )	350-600	300-530	280-415
Agua/cemento	0.35-0.45	0.35-0.50	0.35-0.55
% árido fino grueso	45-60	45-55	40-55
% árido ocluido	4-8	4-6	4-5
Fibras conformadas (Vf%)	0.4-1.0	0.3-0.8	0.2-0.7
Fibras planas (Vf%)	0.8-2.0	0.6-1.6	0.4-1.4

Fuente: ACI Committee 544 (2014)

#### 2.2.4.2 Dosificación y colocación de fibras de acero en el concreto hidráulico

Uno de los aspectos que se consideran para el diseño de un pavimento industrial es que está sometido a cargas variadas y además la superficie de apoyo es el medio de transporte y manipulación, con lo cual se exige requisitos de diseño y ejecución como una superficie regular, resistencia al impacto y durabilidad.

Las fibras de acero a diferencia de los refuerzos corrugados van de manera directa al mixer para ser mezclados con el concreto y formar una mezcla homogénea. Por lo general por cada metro cubico de concreto habrá 25 kilogramos de fibra de acero, donde el refuerzo está distribuido de manera aleatoria, dando un refuerzo multidireccional. En la figura, se aprecia cómo

se agrega la fibra de acero a la mezcla de concreto por medio de una faja transportadora y separada por rendijas para evitar una posible obstrucción.



Figura N° 32: Colocación de fibra de acero en el concreto

Fuente: Chumpitaz y Nava

#### 2.2.4.3 Procesos constructivos

El vaciado de losas con fibras de acero es como un vaciado de losas de concreto simple, la única diferencia que se agregará al concreto la proporción necesaria (20-25 kg/m<sup>3</sup>) de fibras, luego se vierte a una velocidad medía dentro de la tolva para proceder al vaciado. Sin embargo, el proceso constructivo de una losa inicia desde la conformación del terreno hasta la entrega de una losa.

##### a) Replanteo del terreno

Está etapa es muy importante ya que indicará los niveles donde se trabajará y los sectores, puesto que los lugares serán transitados por las maquinarias que realizarán los trabajos.

b) Movimiento de tierras

Desarrolla todo el proceso para conformar el terreno que servirá como apoyo a las losas industriales, para esta etapa se necesita de maquinarias como excavadora, retroexcavadora, rodillo, etc. Según el análisis del tipo de suelo y los datos obtenidos en un perfil estratigráfico y el CBR, se evaluará si el terreno se trabajará con el material propio o material de préstamo.

Las partidas que se desarrollan comúnmente en esta etapa del proyecto son:

) Corte y relleno de material

En esta partida se evalúa a qué nivel se tiene que cortar el terreno o rellenar, según las condiciones que de soporte del terreno.

) Mejoramiento del terreno

Suele realizarse si la losa va a soportar sobrecargas, los mejoramientos se realizarán con aditivos, cemento, etc. Las indicaciones de un mejoramiento lo podemos tener en las especificaciones técnicas de un proyecto.

) Nivelación y compactación

En esta etapa se procede a conformar el terreno con la finalidad de reducir el índice de vacíos e ir formando un nivel adecuado del terreno, este proceso se realiza por capas desde el 25 a 30 cm según las especificaciones técnicas.



Figura N° 33: Nivelación, conformación y compactado de terreno

Fuente: PISO TEC



Figura N° 34: Trazos para sectorizar las losas

Fuente: PISO TEC

c) Caracterización del suelo

Después de múltiples ensayos se manifiesta que para conocer mejor las características del subsuelo para el análisis del pavimento de concreto hidráulico es del tipo Winkleriana, para ello es importante hallar la constante de basalto mediante el ensayo de placa de carga.



Figura N° 35: Ensayo de placa de carga

Fuente: Manual de diseño de pisos industriales Chile

Para evaluar la carga que soporta la subrasante, se usará placas circulares con variaciones de tamaños, dispuestas sobre la superficie que se deberá ensayar, de mayor a menor, con el fin de reducir la flexión de la placa base, esto carga se aplica por medio de un gato hidráulico.

Según AASHTO T-222 se determinará el módulo de la reacción definido por:

$$K = p/\delta$$

Donde:

K: módulo de reacción

p: presión unitaria aplicada por medio de placa rígida

: deflexión correspondiente

En el caso que no se tenga que realizar este ensayo podemos trabajar con valores como el CBR, para determinar el módulo de la reacción.

d) Encofrado y desencofrado

Chumpitaz 2019, los encofrados se presentan en distintos materiales, metálicos, maderas, fenólicos, o compuestos entre ellos, estos a su vez se

presentan en moldes de acuerdo con la necesidad de las estructuras a vaciar.

Para las losas se recomienda el uso de paneles compuestos entre fenólicos como panel, metálicos para los perfiles y sujeción. Sin embargo, su uso es muy poco, porque el concreto con fibras permite el vaciado en mayores volúmenes.

e) Vaciado de concreto

Para el vaciado del concreto primero se tiene que añadir las fibras de acero, éstas se colocan en el mixer, luego procede a un batido para homogenizar por 5 minutos. Antes de comenzar con el vaciado, procedemos a realizar los ensayos de control de calidad, prueba de slump, testigos de concreto para verificar la resistencia.



Figura N° 36: Incorporación de fibras de acero al mixer-ensayos de slump del concreto con fibras de acero

Fuente: Maccaferri 2009

La dosificación de fibras suele ser de 20-25 kg por cada m<sup>3</sup> las presentaciones que tienen los proveedores de este insumo también vienen envasados en las cantidades mencionadas, facilitando el cálculo de fibra a agregar en cada mixer.



Figura N° 37: Mezclado del concreto con la fibra de acero

Fuente: Chumpitaz & Nava

Como se puede ver la presencia del concreto con fibra de acero es una mezcla totalmente uniforme que no muestra presencias de grumos de fibras o bolas de amasado. Para conseguir ellos es importante regularizar la granulometría del agregado ya que este tiene una relación directa con la fibra que se requiera usar.



Figura N° 38: Colocación de concreto en el terreno

Fuente: Chumpitaz & Nava

Como se ve en la figura N° 36, es importante el uso del vibrados de concreto para minimizar los vacíos y uniformizar el concreto haciendo que recubra toda la zona.

f) Regleado y nivelado de concreto

Esta partida requiere de algunos equipos que dependerá del tamaño de las losas, para proyecto de menores a 10 mil m<sup>2</sup> podemos usar reglas flotadoras y vibratorias, y para mayores áreas se usará la laser screed SXP-D. En lugares donde no se pueda usar estos equipos se realiza franjas de concreto de manera paralela que servirán como guía para mantener un nivel adecuado cada cierto tramo, luego se corrobora los niveles cada 6 m.



Figura N° 39: SXP-D de 11 metros

Fuente: TyH pavimentos



Figura N° 40: Magic Screed de 6 metros

Fuente: TyH pavimentos

El recurso humano que requiere está partida son topógrafos con ayudantes, para poder mantener la planimetría constante en toda la losa, a su vez se requiere de equipos topográficos, laser de nivelación óptica y miras.



Figura N° 41: Nivelación óptica con láser de losas industriales

Fuente: TyH pavimentos

Chumpitaz & Navas 2019, para hacer una corrección de niveles se procede a usar check road que busca reducir en lo mínimos los lomos generados, para de esta forma tener una planimetría adecuada.

g) Alisado o pulido final

En este proceso se requiere de recursos humanos para dar un acabado pulido, en las zonas donde las máquinas no puedan tener ingreso, así mismo en los centros de la losa se usará las alisadoras, según el requerimiento y uso de la zona se evalúa si el acabado es semipulido, pulido o barrido.

) Acabado Pulido

En las losas industriales este acabado se suele usar en los almacenes o zonas de tránsito guiado filoguiado.

) Acabado Semipulido

Este tipo de acabados se da en pasillos o tránsito peatonal, con la finalidad de tener una fricción adecuada.

) Acabado barrido

Este tipo de acabados se realiza en la zona de tránsito vehicular, ya sea en el patio de maniobras, rampas o estacionamiento, tiene como finalidad generar una adherencia adecuada entre los vehículos y la losa. Para ello se usa una especie de escoba con un mango largo y cepillo de alambres de aluminio.



Figura N° 42: Alisadoras simples y dobles

Fuente: TyH pavimentos

h) Corte y curado de losa

Los cortes en la losa como ya mencionamos en el ítem de sistema de juntas tienen como principal función evitar el agrietamiento de la superficie, para ellos primero se realiza un trazado sobre la distancia de las juntas de contracción y luego usamos una cortadora que tiene un disco de corte de concreto, estas juntas suelen realizarse a cada 1.5 – 3.0 m.



Figura N° 43: Cortes de pavimento

Fuente: TyH pavimentos

El curado final de una losa dependerá de las especificaciones técnicas, para ello se evalúa la temperatura, en losas industriales expuestas a cambios frecuentes de temperatura, se usan aditivos curadores, anti-sol o protectores (plásticos, mallas, mantos geotextiles), para una temperatura normal se suele elaborar lo conocido como arroceras, se colocará una franja de arena por todo el perímetro de la losa que se desea curar, a continuación, se vierte agua para su curado.

i) Sellado de juntas

Manual de losas industriales de Chile, nos dice que el sellado se debería realizar cuando las losas hayan dejado de contraerse por secado, pero este se suele dar entre los 6 meses aproximadamente lo cual dificultaría el tiempo de entrega (ver Figura N° 42).

Normalmente el sellado se realiza entre los 21-28 días del vaciado, para ello se colocará un sello elastomérico, en las juntas de contracción y construcción.

El proceso es comenzar con quitar rebabas de concreto con una amoladora, luego limpiamos con un soplete y bastante aire con una compresora, se coloca un cordón de respaldo y por último se aplica el sello elástico (ver Figura N° 42).



Figura N° 44: Curado y sellado de juntas en losas industriales

Fuente: Chumpitaz & Navas

#### 2.2.4.4 Colocación de endurecedores de capa de rodadura

Los endurecedores son una mezcla seca usada en pisos de concreto hidráulico (ver Figura N°43). Añade a la losa una mayor resistencia a la abrasión y resistencia al desgaste; Asimismo, beneficia con un elegante acabado. Su composición es a base de cemento Portland, árido graduado de cuarzo-silicio no reactivos y aditivos que mejoran las propiedades del concreto agregándole propiedades mecánicas y estabilidad en el color por muchos años sometido a todo tipo de tráfico y clima.



Figura N° 45: Colocación de endurecedores de capa de rodadura

Fuente: Chumpitaz & Navas

#### 2.2.4.5 Colocación de filoguiado en los pasillos

La colocación del filoguiado se realiza posterior a la colocación de los racks, debido a que el cable debe quedar en el centro del pasillo con un error no mayor a 2 mm a lo largo del tránsito.

### 2.2.5 Ensayos a losas industriales con fibra de acero

#### 2.2.5.1 Ensayo flexotracción

El ensayo a flexión es de uso generalizado para la caracterización del hormigón reforzado con fibras (HRF) como sustituto del ensayo a tracción directa. Se usa generalmente en procedimientos normalizados para la determinación de los parámetros de resistencia tanto en vigas como en paneles de hormigón.

Uno de los aspectos de estos ensayos que ha recibido una atención considerable es la medición de la deflexión de la viga, la cual se debería hacer tomando como referencia los extremos de la misma viga y no con referencias externas (Brite Euram Project, 1999 – 2002). Otros de los aspectos para tener en cuenta es el control del ensayo más allá de la carga máxima, ya que el uso de la deflexión como una variable de control no siempre conduce a asegurar la poca dispersión del ensayo.

Se pueden realizar ensayos con vigas entalladas, ya que dicho uso evita la mayoría de los problemas que surgen al determinar la respuesta post-pico en flexión. Se usa la apertura de los labios de la entalla para controlar la estabilidad del ensayo. El uso de muestras con entalla requiere del ensayo, ya que, debido a la presencia de la entalla, se tendrán concentraciones de tensiones.

Las variables más características que se miden generalmente en los ensayos a flexotracción son la carga máxima, deflexión de la viga y el CMOD (apertura de la fisura). Éste último es el caso de vigas con entalla. En la figura se pueden observar las curvas típicas que obtienen.

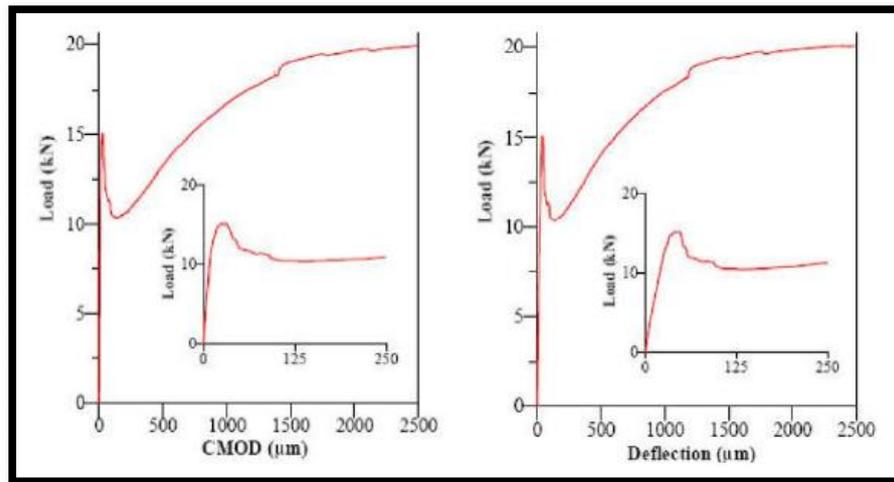


Figura N° 46: Ensayo flexotracción del ensayo en viga

Fuente: Marmol 2010

Los ensayos a flexotracción comúnmente utilizados y de mayor aplicación en la caracterización del comportamiento del HRF son los siguientes:

) Ensayo Barcelona de doble punzonamiento

Este método tiene como principal objetivo determinar la resistencia a primera fisura, tenacidad y resistencia residual a tracción indirecta del FRC sobre una probeta cilíndrica de igual diámetro que altura (150mm) que se somete a un ensayo de doble punzonamiento mediante una carga transmitida según el eje central de simetría de esta.

Al cargar se genera un estado triaxial bajo el disco de carga y una tracción perpendicular a los planos que contienen el eje de simetría de la probeta, lo que permite obtener un valor de resistencia a tracción (Saludes 2006).

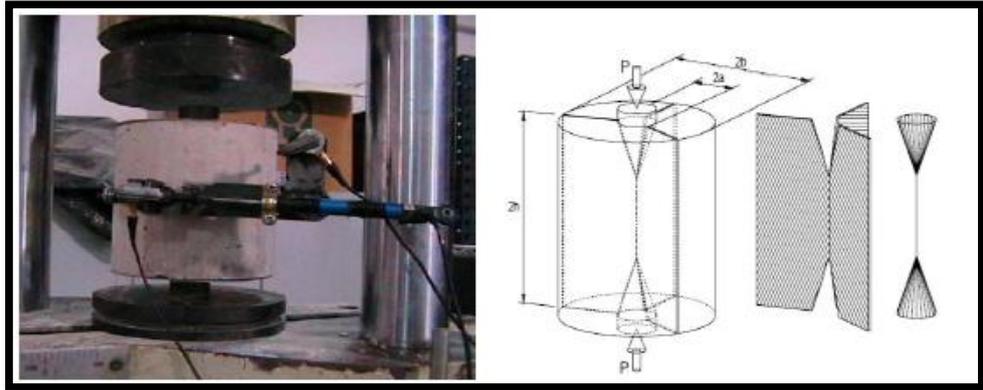


Figura N° 47: Ensayo Barcelona de doble punzonamiento

Fuente: Marmol 2010

) Ensayo de vigas con carga a tercios

Existen diferentes normativas específicas para el ensayo de vigas con carga a tercios, las más populares y utilizadas son la belga, la europea y la americana y su esquema básico se puede observar en la figura.

El ensayo de viga EFNARC con carga a tercios es un ensayo de ejecución muy similar al ensayo ASTM C-1018, pero involucra una viga más esbelta que mide 75 x 125 x 550 mm apoyada con una luz de 450 mm. Tienen en común que ambos procedimientos involucran una distribución de carga a tercios de la luz de una muestra mayor a la previamente cortada con el comportamiento basado en las características del registro carga post fisuración-deflexión. El ensayo de viga

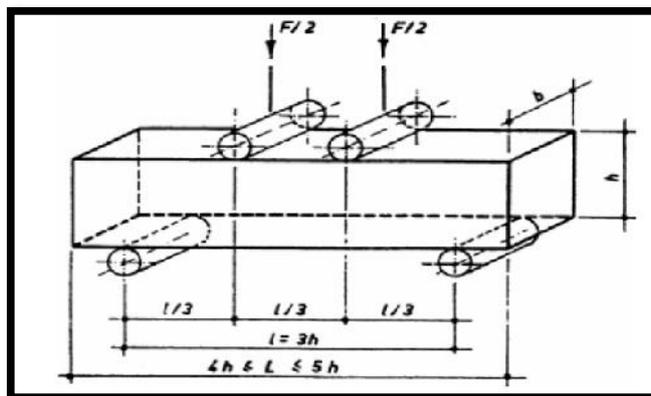


Figura N° 48: Ensayo de viga EFNARC

Fuente: Mármol 2010

EFNARC, a diferencia del resto de ensayos de vigas con carga a tercios, está ideado para hormigón proyectado reforzado con fibras.

) Ensayo de vigas con carga central

El ensayo según observaciones experimentales realizadas por Mateos (1998) parece ser estable tras el pico. Centra la fisura, y permite la evaluación real de la energía absorbida por la probeta, además de requerir unos dispositivos de medida de flecha y aplicación de carga más simple que los usados en el ensayo de carga a tercios, por lo que representa una alternativa interesante. Por el contrario, el punto de primera fisura, al igual que el ensayo de carga a tercios, no parece de clara determinación en esta configuración de carga.

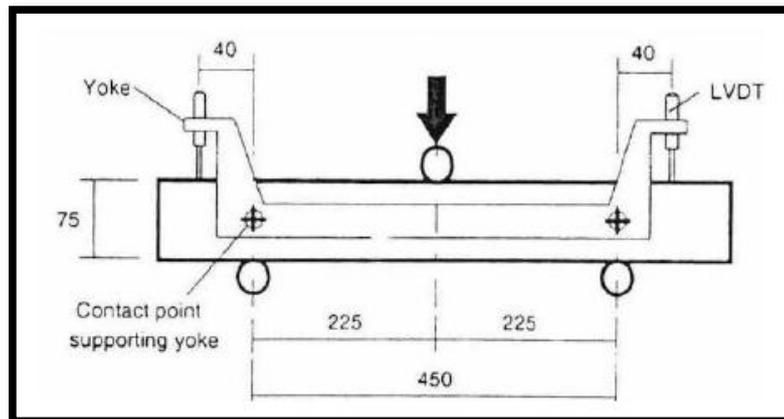


Figura N° 49: Ensayo de viga con carga central

Fuente: Mármol 2010

) Ensayo rilem de vigas con carga centrada y entalla

El ensayo Rilem 3-point vending es conocido y apreciado en los laboratorios por su simplicidad. La muestra para ensayar es una viga de 550 a 600 mm de longitud y una sección transversal con un ancho y una profundidad de 150 mm (Rilem TC-162 TDF, 2002). Se apoya en dos soportes separados entre sí 500 mm y a la mitad de dicha separación la muestra presenta una entalla de una profundidad de 25 mm, como se puede observar en la figura.

El ensayo se realiza bajo control de CMOD. Además del CMOD y la carga, también existe la opción de medir la deflexión en los dos bordes

del prisma. La deflexión relativa se mide directamente mediante un transductor de desplazamiento (LVDT) que se instala en una placa que es clavada en la muestra a ensayar por encima de los soportes.

La ventaja de este método es que es simple y que el control de CMOD asegura una programación estable de la fisura (crecimiento), incluso para hormigón en masa. La curva carga-CMOD o bien la carga-deflexión pueden ser usadas para calcular las relaciones tensión-deformación o tensión-ancho de fisura. Se puede realizar de varias maneras, una de las opciones es utilizando la resistencia residual a flexotracción para una determinada deflexión o CMOD.

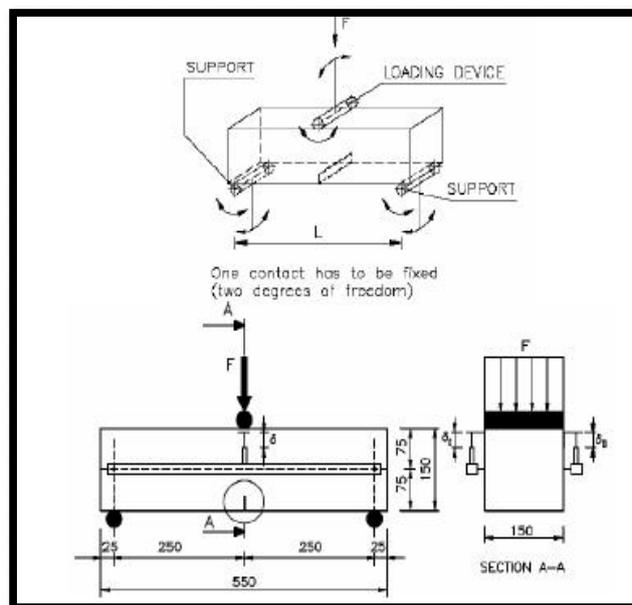


Figura N° 50: Ensayo rilem de vigas

Fuente: Mármol 2010

#### ) Ensayo de paneles EFNARC

Una alternativa al ensayo de resistencia a flexotracción basado en vigas es mediante el ensayo de paneles. Procedimientos basados en paneles, como el ensayo de panel EFNARC, ofrece una mayor fiabilidad en HPRF que con vigas, aunque su procedimiento no está exento de problemas. En muchas ocasiones se requieren revestimientos de hormigón proyectado para resistir cargas puntuales. Por este motivo es lógico en algunas

situaciones cuantificar el comportamiento de los diseños a través de la aplicación de una carga puntual a un panel, el cual representa una parte de un revestimiento continuo. La importancia del ensayo de paneles radica en este hecho.

En la figura se puede observar una de las diferentes configuraciones (figura izquierda) que existen del ensayo de paneles y en la que se constatan los dispositivos LVDTs de medida de la deflexión (Brite Euram Project, 1999-2002), mientras que en la figura derecha se observa la ejecución de un ensayo de paneles, basado en la normativa EFNARC (1996), ejecutado en los laboratorios de Bekaert S.A (Lambrechts y Bekaert S.A., 2002-2003).

El ensayo de panel cuadrado EFNARC es posiblemente el procedimiento más extendido de evaluación, basado en paneles. Este ensayo involucra la aplicación de una carga puntual centrada en un panel de 100 x 600 x 600 mm apoyado simplemente sobre cuatro líneas externas situadas en una base plana cuadrada de 500 x 500 mm.

El ensayo de panel cuadrado EFNARC se evalúa de dos maneras; medida de la carga máxima mantenida y energía absorbida para una flecha central de 25 mm. El primer parámetro no es una característica particularmente útil de estos paneles porque está fuertemente influenciado por la distorsión en la base de la muestra producida por la forma durante el proyectado del hormigón. Esto además depende de la resistencia de la matriz y tiene poco que ver con el comportamiento de las fibras, al menos por lo que hace referencia para mezclas con niveles normales de absorción de energía.



Figura N° 51: Ensayo de panel cuadrado EFNARC

Fuente: Mármol 2010

Este último parámetro se calcula integrando el área que encierra la curva carga-desplazamiento. Mayor sea la absorción de energía, más capaz será la mezcla de soportar una carga en el estado de fisuración.

) Ensayo de placas circulares (Round Determinate Panel Test)

Una alternativa al ensayo de panel EFNARC es el Round Determinate Panel (RDP), desarrollado recientemente por Bernard y Pircher, Propuesto para la valoración del comportamiento post-pico del HRF y HPRF. Este ensayo se enfoca principalmente para eliminar los defectos que aparecen en el ensayo de panel EFNARC.

Se impone una carga puntual central en una muestra circular, que mide 75 x Ø800 mm, apoyada en tres puntos situados simétricamente en un diámetro de 750 mm, según se puede observar en las figuras. El uso de tres puntos apoyado asegura que la distribución de carga al principio del ensayo esté condicionada en la muestra. Los planos de fisuración se encuentran bien definidos por lo que en consecuencia se puede predecir de manera más real la distribución de carga. El comportamiento del HPRF se obtiene a partir de medidas de capacidad de carga y absorción de energía para algunos valores característicos del desplazamiento del punto medio del panel. Estos valores van desde los 5 mm hasta los 40 mm. Sin embargo, dicho comportamiento se ve afectado por el espesor de la muestra.

El comportamiento del HRF se mide con la capacidad de carga a la primera fisura y la capacidad de absorber energía para desplazamientos centrales dados.



Figura N° 52: Ensayo de panel circular EFNARC

Fuente: Mármol 2010

Bajo la carga central puntual, la muestra casi siempre falla formando tres fisuras radiales que empiezan en el centro de la muestra y bisecan cada uno de los sectores no apoyados del panel (en caso de observar fallas bilineares, se debe descartar el ensayo).

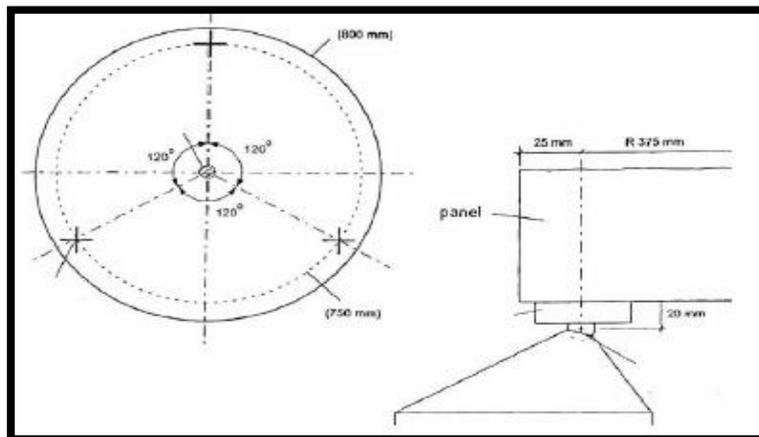


Figura N° 53: Ensayo de panel circular EFNARC

Fuente: Mármol 2010

Este modo de fallo sucede sin reparar en las tolerancias de la planeidad de la base de la muestra, y la longitud total de la fisura asciende a 1.200 mm. El resultado es un coeficiente de variación en los parámetros de comportamiento en post-fisuración (basados en absorción de energía) del 6 al 13%.

El comportamiento en el RDP se ha medido a partir de dos características:

- La capacidad de carga mediante mediciones de carga-flecha.
- La absorción de energía para unos valores concretos de deflexión centra.

#### 2.2.5.2 Ensayo de impacto

##### ) Ensayo de caída de peso

Es el ensayo más simple que evalúa la resistencia a impacto, sin embargo, no se puede utilizar para conseguir propiedades primordiales del material. Este método es usado totalmente para adquirir valores comparativos del hormigón sin reforzar y reforzados con fibra.

Este ensayo ha sido el adoptado por la norma UNE 83.514/90 para medir la resistencia a impacto del hormigón reforzados con fibras, consiste en un disco circular de hormigón de 6 in (150 mm) de diámetro y 2.5 in (64 mm) de espesor sujeta a repetidas cargas de impacto, arrojando una masa de 10 lb. (4.54 kg) desde una altura de 18 in (460 mm). La carga se transmite del peso de caída a la probeta a través de una bola de acero de 2.5 in (64 mm) de diámetro situada en el centro del disco.

##### ) Ensayo de caída de peso instrumentado

Por medio de instrumentación en los ensayos se puede obtener información adicional al comportamiento del material como la curva carga-deformación, energía y resistencia última. Normalmente se emplean dos tipos de ensayos instrumentados: el ensayo de caída de pesos y el ensayo Charpy. En el péndulo de Charpy la masa de oscilación del péndulo es la que impactará la probeta mientras que en el otro sistema una masa unida a una cabeza instrumentada es la encargada del impacto. En ambos sistemas, una instrumentación adecuada en el martillo y en el

soporte que sujeta la probeta es necesaria para conseguir los registros de los valores del ensayo.

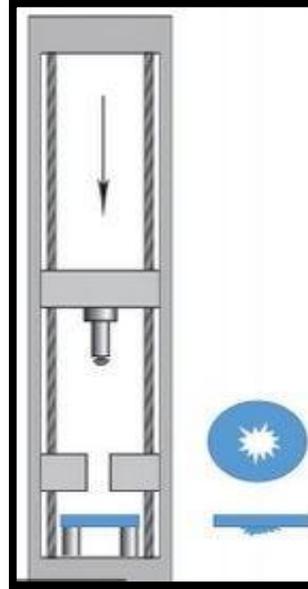


Figura N° 54: Ensayo de impacto, caída de peso instrumentado

Fuente: Nexpolímeros

El peso se deja caer por gravedad y es guiado por dos columnas. La masa y la altura proporcionan los ajustes que se necesiten para poder medir la energía y/o velocidad de impacto. El equipo de instrumentación debe ser de tiempo de respuesta de alta frecuencia. Esta técnica de ensayo ha sido usada para la medición de la resistencia a flexotracción en concretos reforzados con fibras de acero, polipropileno y nylon por distintos investigadores.

#### ) Ensayo de impacto Charpy

El ensayo de impacto Charpy es un ensayo normalizado recomendado para metales (ASTM E32-86). La resistencia a impacto se mide por la altura alcanzada por el péndulo después de impactar una probeta con entalla. La confianza del método está afectada por la rigidez del péndulo cuando queremos medir la energía de rotura y la carga máxima.

) Ensayo de Charpy modificado

Es un ensayo en el que el péndulo y el soporte están instrumentados de un modo similar al ensayo de caída de pesos instrumentado. Este método fue usado en primer lugar por Hibbert, 1977, que obtuvo las gráficas de carga y energía en concreto tradicional y reforzado con fibras. Más recientemente Gopalaratnam, V.S. y col. 1984, realizaron una serie de ensayos en concretos reforzados con fibras y concretos tradicionales usando este método.

) Ensayo de barra Hopkinson

La probeta en este método se coloca entre dos barras elásticas con el mismo eje y denominadas respectivamente incidente y transmisora. Mediante un proyectil se genera un pulso elástico en la barra incidente. Este pulso se transmite parcialmente a través de la probeta, a la segunda barra. La fuerza que actúa en la probeta se calcula midiendo el pulso en dos puntos en ambas caras de las probetas y las deformaciones de la probeta se miden mediante bandas de deformación montadas en la misma.

) Ensayo de tracción dinámico

Este ensayo de probetas típicamente cilíndricas se golpea en un lado con proyectiles a alta velocidad. La onda de compresión generada en la parte de la probeta que se golpea se refleja como una onda de tracción cuando alcanza el otro lado de la probeta donde se ha colocado una pastilla con la misma impedancia. La onda de tracción provoca que el hormigón se rompa. Las tensiones y deformaciones en el hormigón se calculan por la velocidad que adquiere la pastilla.

### 2.2.5.3 Ensayo de tenacidad-fatiga

Rodríguez 2013, una losa hidráulica es una estructura que es sometida a cargas cíclicas esto se debe al tránsito repetitivo de los vehículos y efectos combinados de acción climática, Estos esfuerzos generados en un pavimento rígido son principalmente de compresión y flexión, siendo este el más crítico para el concreto, ya que la resistencia en flexión es menor a la de compresión.

Mehta y Monteiro 2006, Estos cambios a los que está sometido el concreto es compensado por el acero de refuerzo o fibras metálicas, siendo esta última la que incrementa la resistencia a la fatiga en su totalidad.

) Ensayo a tracción uniaxial o tracción directa

Es considerado como el modo más adecuado para determinar las propiedades de fractura de materiales frágiles. Sin embargo, es un ensayo difícil de ejecutar, con altas dispersiones en sus resultados, debido a la incapacidad de obtener de manera razonable distribuciones uniformes de tensiones.

Esto se puede atribuir a la heterogeneidad del material, a imperfecciones de la probeta y a excentricidades durante el proceso de carga. Además, existen otros inconvenientes tales como la sujeción de la probeta y la dificultad de asegurar la poca dispersión del ensayo.

) Ensayos de fatiga

Se ha comprobado que la adición de fibras de acero en el hormigón mejora considerablemente la resistencia a la flexión estática, resistencia al impacto, al corte y resistencia a la torsión, al igual que a la tracción directa y a la fatiga. Sin embargo, el grado de estas mejoras depende del tipo, tamaño, forma y esbeltez de las fibras de acero. Se ha demostrado que las fibras conformadas en sus extremos y dispuestas en peine pegadas con una cola al agua, muestran una eficacia mejor que las fibras rectas, con menor posibilidad de que se formen erizos.

#### 2.2.5.4 Ensayo a compresión

) Resistencia a compresión: Debido a la limitada información encontrada sobre ensayos a compresión aplicando a fibras de acero.

La determinación y cálculo de la resistencia a compresión de los morteros reforzados con fibras, se realiza de acuerdo con la norma europea EN 196-1 y la norma UNE 80-101-88. Una vez realizado el ensayo de rotura a flexión, se ensayan a compresión las porciones de prismas rotos, cargando sobre las caras laterales del molde.

#### 2.2.5.5 Ensayo a la cortante

J Debido a que las roturas por corte son consideradas frágiles y frente al incremento en la ductilidad del hormigón que producen las fibras (ACI 2008), actualmente existe un gran interés en determinar la respuesta del hormigón reforzado con fibras frente a esas condiciones de carga. Por este motivo se han propuesto diferentes tipos de probetas y ensayos que tienen por objetivo producir esfuerzos de corte en un plano de falla predefinido (normalmente cortando entallas en las probetas), empleando barras y cargas de compresión (Barragán et al., 2006). El ensayo de probetas tipo Z Figura a, ha sido bastante popular en la determinación de la respuesta al corte directo del hormigón (Barr, 1987).

La probeta es básicamente un prisma cortado formando dos bloques tipo L, unidos a través de un plano sobre el que se producen las tensiones de corte debido a una carga de compresión externa. Sin embargo, estos ensayos son muy sensibles a excentricidad en la aplicación de la carga de compresión, lo que se traduce en roturas por flexión y no por corte. Frente a este problema experimental, se han propuesto otras alternativas de ensayo, como las vigas o paneles en flexión con una o dos entallas excéntricas y carga central o vigas con dos entallas centrales y cargas excéntricas, que se puede ver en la Figura b (Barr, 1987; Shah et al., 1995). Estas configuraciones de ensayo permiten la propagación de fisuras en modo mixto de fractura, es decir, en ellas se desarrollan simultáneamente componentes de tracción (apertura) y corte (deslizamiento de las caras) (Shah et al., 1995).

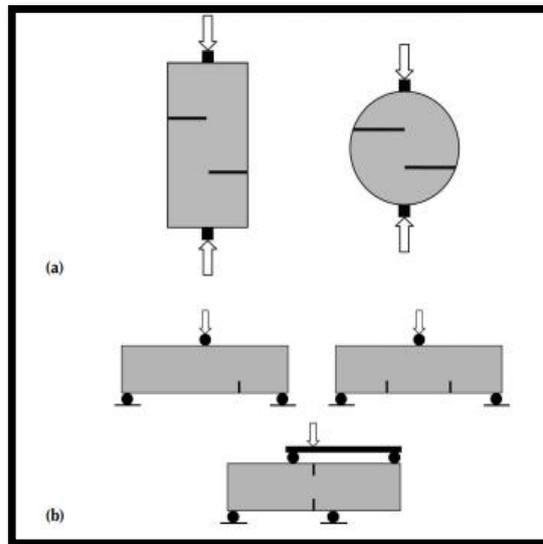


Figura N° 55: Ensayo de probetas tipo Z

Fuente: ACI 2008

### 2.3 Definiciones conceptuales

- ) Concreto hidráulico

Según la norma E060 2019, se define como la mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos.
- ) Fibras de acero

Según la NTP-ISO 13270:2018, menciona que las fibras son piezas deformadas o rectas de acero trefilado en frío, fibras de lámina cortada rectas o deformadas, fibras extraídas de fundición, fibras de alambre trefilado en frío cepillado y fibras mecanizadas de bloques de acero que son adecuadas para ser mezcladas homogéneamente en concreto o mortero. El grupo I corresponde a alambre trefilado (estirado) en frío.
- ) Losas industriales

Según el manual de diseño de losas industriales Chile 2014, compuesto de concreto que presentan características específicas, como su alta resistencia a esfuerzos mecánico como fatiga, impacto, etc. o sustancias químicas, este tipo de piso está diseñado para soportar usos rudos, es decir pueden tolerar cualquier aplicación de carga.
- ) Concreto reforzado con fibras

ACI Committee 544, 2002, concreto hidráulico que se le adhiere refuerzo de fibras discontinuas.

Estás fibras se producen a partir del acero, vidrio y polímeros orgánicos (fibras sintéticas).

) Fatiga

Orosco 2004, es el agrietamiento de las capas cohesivas producido por la acción repetida de las cargas que circulan sobre él, deformándolo.

) Flexión

Muñoz 2017, tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal

) Planimetría

Superficie de concreto nivelado con el fin soportar cargas considerables, su espesor es variable de acuerdo con el diseño y destinado a almacenamiento industrial.

#### 2.4 Estructura teórica y científica que sustenta la investigación

Para el diseño de losas de concreto con acero de refuerzo se considera las siguiente normas y métodos que están dentro de la estructura teórica y científica que se presenta a continuación:

) NTP-ISO 13270:2018

) Norma astm a820-04: standard specification for steel fiber for fiber – reinforced concrete.

) ASTM C 143 Ensayo slump.

) Ensayo de viga ASTM C-2018.

) Ensayo a la compresión de concreto con fibra de acero – norma europea EN 196-1.

) Ensayo de caída de peso instrumentado.

) Ensayo de impacto Charpy.

) Método de Diseño de la Asociación Cemento Portland (PCA).

) Método de Diseño del Instituto de Refuerzo con Cable (WRI).

) Método de Diseño del Cuerpo de Ingenieros, COE.

) Reporte técnico (TR 34).

) Método Británico.

) Método “Yield Line Theory”.

- ) Pave 2008 – manual de uso del programa para diseño de pisos industriales en concreto reforzado con fibras de acero (crfa).
- ) Normas o métodos para control de planimetría.
- ) Astm 1155 standard test method for determining ff floor flatness and fl floor levelness numbers.

## CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1 Formulación de hipótesis

#### 3.1.1 Hipótesis general

La incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico optimizará las propiedades físicas del pavimento en fábricas industriales.

#### 3.1.2 Hipótesis específicas

- a) La incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico mejorará la fatiga del pavimento en fábricas industriales.
- b) La incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico mejorará la resistencia a la flexión del pavimento en fábricas industriales.
- c) La incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico mejorará la resistencia al impacto del pavimento en fábricas industriales.

### 3.2 Variables

La variable independiente es la incorporación de fibras de acero que busca alterar las propiedades originales del concreto, logrando que represente una ventaja frente a un concreto convencional. La variable dependiente es las propiedades físicas del concreto hidráulico, ya que variara características que presenta el concreto al encontrarse sometido a una diversidad de esfuerzos.

#### 3.2.1 Definición conceptual de las variables.

) Variable Independiente

Manual de Diseño de Losas Industriales (2016). Adhesión de elementos delgados de longitud corta y diámetro pequeño, que son utilizadas para formar hilos del material para el refuerzo de concreto.

) Variable Dependiente

Dependen de la estructura y procesamiento del material. Describen características como, durabilidad, trabajabilidad y resistencia.

### 3.2.2 Operacionalización de las variables

Tabla N° 13: Operacionalización de Variables

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>				
<b>VARIABLES</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>INSTRUMENTO</b>
Incorporación de fibras de acero	Adhesión de elementos delgados de longitud corta y diámetro pequeño, que son utilizadas para formar hilos del material para el refuerzo de concreto.	Relación concreto - fibra de acero	kg/cm <sup>2</sup>	Información de ensayos de laboratorio, ASTM A820
			tn/m <sup>3</sup>	Manuales de losas industrial, ACI 544 -R
		Propiedades mecánicas	lb/plg psi	Tesis nacionales e internacionales Investigaciones experimentales
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>				
<b>VARIABLES</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>INSTRUMENTO</b>
Propiedades físicas del concreto hidráulico	Dependen de la estructura y procesamiento del material. Describen características como, durabilidad, trabajabilidad y resistencia	Degeneración de algún material sometido a cargas cíclicas	unidad	Formatos de investigaciones, Manual de diseño de losas industriales
		Resistencia a la falla por tracción o compresión de un concreto	Psi, lb/plg <sup>2</sup> , (Mpa)	Formatos de investigaciones y el ACI 318
		Fragilidad de un material cuando es sometido a un golpe intenso	lb. Pie/plg o J/m	Formatos de investigaciones, Manual de diseño de losas industriales

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1 Tipo y nivel

#### 4.1.1 Tipo de investigación

Se realizó una investigación descriptiva, por la matriz de desarrollo planteada. Donde se buscó informar los beneficios de incorporar fibra metálica en un concreto hidráulico, y que el desempeño nos muestre resultados óptimos en las propiedades físicas de un pavimento de losas industriales.

#### 4.1.2 Método de la investigación

La investigación tuvo un método inductivo, toda vez que nos basaremos en proyectos donde ya se aplicaron fibras metálicas, por ende, en base a estas investigaciones generalizamos para todas losas industriales buscando mejorar las propiedades mecánicas.

##### ) Orientación de Investigación

Nuestra investigación fue aplicada, porque se procura optimizar las condiciones físicas de losas industriales en base a conocimientos y hallazgos tecnológicos como son las fibras de concreto.

##### ) Enfoque de Investigación

Desarrollamos a través de un enfoque cualitativo, ya que, a través de la recolección de información, incorporación de fibra metálica en el concreto hidráulico, analizamos como se presenta las mejoras de las propiedades mecánicas en los pavimentos de losas industriales.

No es considerada cuantitativa, porque no se realizó ensayos o muestras para corroborar nuestras variables dependientes.

##### ) Fuente de Investigación

Recopilamos información de manera retroelectiva, ya que todo el contexto de nuestra investigación se dio en base a manuales, investigaciones, revistas e informes y con esto demostramos como las propiedades físicas de un concreto con fibra de acero se optimizó.

#### ) Nivel de Investigación

Se desarrollo un nivel explicativo-descriptivo ya que se detalló los procesos, beneficios y características de la incorporación de fibra metálica en el concreto, y está información nos mostró las mejoras en las propiedades físicas-mecánicas de una losa industrial.

### 4.2 Diseño de investigación

Se desarrollo un diseño No experimental- Transversal, toda vez que no se trabajó con ensayos de laboratorio o campo, todo lo contrario, procesamos data recabada de proyectos, que fueron analizados técnicamente para ver su comportamiento en función a las propiedades físicas de una losa industrial.

#### ) Estudio del diseño

Se realizó un estudio de cohortes, porque investigamos las características de la fibra metálica, después analizamos su comportamiento cuando se incorpora al concreto hidráulico, de esta manera concluimos con las mejoras que tuvo en sus propiedades físicas y así evaluamos sus beneficios en pavimentos de tipo industrial.

### 4.3 Población y muestra

La población de investigación se enfocó en las losas industriales que existen en todo el territorio peruano.

El tamaño de la muestra son las losas industriales de la ciudad de Lima-Callao, siendo el tipo de muestra NO PROBABILISTICO, ya que se consideró que en esta ciudad se concentran las fábricas industriales y esto también nos permitió tener características que luego será referenciales para otras ciudades.

### 4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos

Nuestra investigación se entornó a una técnica observacional, teniendo como principal instrumento, manual de diseño de losas industriales, investigaciones nacionales e internacionales y normas, así fue como tuvimos metodologías e información recabada para poder dar soporte a nuestro tema.

#### 4.4.2 Procedimientos para la recolección de datos

- ) Investigaciones nacionales (10), internacionales (6), normas y métodos de diseño
- ) Recolección de información de países vecinos; Chile, Colombia, donde ya se aplicaron fibra metálica en losas industriales y apreciar los resultados obtenidos.
- ) Análisis e investigación de la fibra metálica y su aplicación en losas industriales
- ) Procesamiento y comportamiento de la fibra metálica al mezclarse con el concreto hidráulico
- ) Estudios de las propiedades mecánicas de un pavimento industrial al tener entre sus componentes la fibra metálica.
- ) Estudio de diseños de losas industriales sin refuerzo, con refuerzo y con fibra de acero
- ) Comportamiento y evaluación de los resultados de la losa industrial al ser sometidos a la fatiga, impacto y resistencia a la flexión.

#### 4.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Después de haber recabado la información de investigaciones nacionales e internacionales en afiches para luego explayarlo en nuestra tesis, utilizamos unos gráficos para presentar los datos. Así mismo se procedió a generar una correlación entre nuestras variables, incorporación de fibras de acero y optimización de las propiedades físicas, de esta forma conocer porcentualmente como mejora las propiedades como fatiga, impacto, flexión, compresión, etc. Finalmente, al analizar los resultados se pudo plantear las conclusiones del estudio.

## CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.1 Diagnóstico y situación actual en el Perú

#### 5.1.1 Antecedentes

El uso de fibras tanto de acero como de polipropileno están siendo utilizados en proyectos de pavimentos rígidos, losas industriales, dovelas, elementos prefabricados de diversos países del mundo, incluso empleados en obras del Perú. A nivel nacional hay poco uso de esta tecnología en pavimentos rígidos, esto se debe a que se tiene poco conocimiento del producto, su forma de aplicación y sus beneficios, tales como mejorar el comportamiento a flexión del concreto y controlar el fenómeno de fisuración del pavimento rígido.

Se muestra en la Tabla N° 14, las empresas más conocidas en el mercado peruano que comercializan fibras de acero y fibras de polipropileno como refuerzo del concreto.

Tabla N° 14: Empresas en Perú que comercializan la fibra metálica

Empresas	Marcas de Fibra
Sika Perú S.A.	SikaFiber CHO 80/60 NB
	SikaFiber CHO 65/35 NB
	SikaFiber CHO 45/35 NB
Maccaferri de Perú S.A.C.	Wirrand FF1
	Wirrand FF3
	Wirrand FS3N
Prodac- Bekaert	Dramix 3D 80/60 BG
	Dramix 4D 55/60 BG
	Dramix RC 65/35 BN
Z aditivos S.A.	Fibra metálica Z 80/60

Fuente: Vargas & Yataco 2020

Así mismo presentamos algunas de las empresas que comercializan la fibra de acero como refuerzo al concreto a nivel mundial, algunas de ellas son México, EE. UU., Italia, etc.

Tabla N° 15: Empresas a nivel mundial que comercializan las fibras

<b>Empresa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Modelo de Fibra</b>
Bekaert	Una de las empresas líderes en el mercado mundial en la venta de las fibras de acero Dramix. Cuenta con clientes en más de 120 países y con puntos de venta y plantas en más de 20 países.	Dramix RC 65/35 BN
		Dramix RC 65/60 BN
		Dramix RC 80/35 BN
		Dramix RC 80/60 BN
		Dramix 3D 80/60 BG
		Dramix 3D 65/35 GH
		Dramix 4D 65/35 BG
Maccaferri	Empresa con más de 70 sucursales operando en los 5 continentes, incluido Perú, su sede principal Italia.	Wirrand FF1
		Wirrand FF3
		Wirrand FS3N
		Wirrand FS1
		Wirrand FS4N
		Wirrand FS7
Arcelor Mittal Wire Solutions	Presencia en más de 25 países incluido Perú, con sede principal en Luxemburgo. Es una de las compañías siderúrgicas más grandes del mundo	HE 55/35 HE 1/50
		TABIX 1/50 TABIX 1/60
		FE 60/36

Fuente: Vargas & Yataco 2020

### 5.1.2 Proyectos realizados en Perú de losas industriales con fibras de acero

Después de una investigación se ha juntado la información de proyectos de losas industriales en los rubros de minería, retail, comercio, etc. Estos proyectos fueron ejecutados en Perú, donde se buscaron superar adversidades e incentivar la innovación de la fibra de acero, a continuación, se detalla donde se realizaron los proyectos, el rubro y el proveedor de la fibra que fue parte del proyecto.

a) Proyecto de almacén de losas del truck shop de Sociedad Minera Cerro Verde, Arequipa

Ecomin 2021, el desarrollo de los trabajos relacionados a la ingeniería, suministro y control de calidad para la construcción de 7 áreas (10 000 m<sup>2</sup>) destinadas al taller de volquetes mineros (5.2 a 12.3 ton), bahías de lavado de equipo minero, bahía de cambio de llantas, zona de carga de lubricantes y refrigerantes, zona de carga y descarga de aceite usado y el almacén general (exterior e interior). Para este proyecto Maccaferri fue el proveedor de las fibras WIRAND, destinando fibras de 25 a 35 kg/m<sup>3</sup> y peraltes entre 550 y 770 mm.



Figura N° 56: Almacén de losas del truck shop de Sociedad Minera Cerro Verde

Fuente: ECOMIN

b) Proyecto de almacén Cormin Callao

Maccaferri 2008 en este proyecto se construyó losas de concreto para almacenamiento de concentrados de mineral de la Empresa Cormin, ubicado en el Callao. Este proyecto tendría la construcción de una losa de concreto con una resistencia de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  de un área de 17 mil  $\text{m}^2$  mezclado con fibras de acero de marca Wirand FF1, con una dosificación de  $25 \text{ Kg/m}^3$  que debía soportar el tránsito de camiones pesados y el peso concentrado del mineral depositado en pilas, con un peso específico de  $3.0 \text{ ton/m}^3$ . Las fibras fueron suministradas por la Empresa Maccaferri de Perú.



Figura N° 57: Almacén Cormin Callao

Fuente: MACCAFERRI

c) Proyecto de almacén de acopio de minerales Yanaquihua, Arequipa

Zaditivos 2021 en este proyecto se construyó una losa de 10 mil  $\text{m}^2$  para el acopio de materia prima con minerales de la minera. Este proyecto requería de una premura de 45 días, según los diseños y los aportes realizados por el área de proyectos se consideró el peralte de la losa de 15 cm y se trabajó con la fibra metálica Z 80/60 teniendo una dosificación de  $20 \text{ kg/m}^3$  con una resistencia de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .

- d) Proyecto de almacén industrial MACROPOLIS, Lima  
Chumpitaz 2019, en este proyecto se tenía destinado un almacén industrial en la zona de Lurín para Macropolis. El área destinada para este proyecto 38 000 mil m<sup>2</sup>. Para este proyecto se empleó el DRAMIX 4D para el diseño los proyectistas analizaron un peralte de 15 cm y una dosificación de 15 kg/m<sup>3</sup>. En este proyecto la empresa UNICON fue quien brindó el concreto con una resistencia de  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>, la duración del proyecto en la etapa del vaciado fue de 2 meses, evidenciando la mejora en el proceso constructivo.
- e) Contenedores de reservorios con petróleo Ventanilla - Callao – Perú  
Chávez 2018, se ejecutó un proyecto de 5 mil m<sup>2</sup> de losas para un almacén que reservaría contenedores de petróleo, este proyecto tomo una ejecución de 30 días calendarios, el proveedor de la fibra fue QSI designando una dosificación de 25 kg/m<sup>3</sup> y un concreto con una resistencia de  $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>, en este proyecto se evidencio un ahorro de casi el 30 % designado para las partidas de vaciado de concreto hidráulico.



Figura N° 58: Contenedores de reservorios con petróleo Ventanilla - Callao

Fuente: Chavez

- f) Puerto de almacén de contenedores Tabatinga, Perú – Brasil  
Collazos 2012, menciona que en el límite de Perú con Brasil en el puerto de Tabatinga se realizó la ejecución de una almacén de contenedores de 8 mil m<sup>2</sup> en un inicio este proyecto demandaba condiciones donde los trabajos se

realizarían con mallas de acero, sin embargo la premura de la entrega era corta, solicitando a los proyectistas a una evaluación del diseño para cumplir con metas establecidas, el proveedor de la fibra en este proyecto fue Zaditivos brindando una dosificación de 25 kg/m<sup>3</sup> y trabajando en un concreto con resistencia de  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> el peralte de la losa fue de 20 cm, la contratista que desarrollo estos trabajos fue Rinol Pavimenta.

## 5.2 Desarrollo del Plan Estratégico

### 5.2.1 Beneficios de la fibra de acero en las losas industriales

Los beneficios que la fibra de acero ha dejado en cada proyecto de losas industriales se evidenciaron con diferencias desde la mejora en el proceso constructivo hasta las propiedades físicas.

#### a) Mejora en el proceso constructivo

Ecomin 2021, El concreto sigue siendo el material estructural más utilizado esto ya que posee grandes beneficios como durabilidad, trabajabilidad y alta resistencia a la compresión, entre otros. Sin embargo, el concreto presenta restricciones como es el caso de su comportamiento frágil, es decir su baja capacidad de deformación antes de la rotura. En el caso de las losas industriales, una de las alternativas técnicas que podemos utilizar para minimizar esas limitaciones es el uso de fibras.

De esta manera en el proyecto almacén de losas del truck shop de Sociedad Minera Cerro Verde, Arequipa se evidenció que el uso de las fibras redujo el cronograma en un 30 % en función a una malla de acero.

CRONOGRAMA DE OBRA - PROYECTO DE 10 000 M2 DE LOSA INDUSTRIAL - MALLA DE ACERO												
Partidas	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6	SEM 7	SEM 8	SEM 9	SEM 10	SEM 11	SEM 12
Conformación de terreno	■	■										
Elaboración y colocación de malla de Acero		■	■	■	■	■						
Encofrado de Losa			■	■	■	■	■	■				
Vaciado de Concreto					■	■	■	■	■	■	■	
Acabado de Losa					■	■	■	■	■	■	■	
Curado de Losa										■	■	
Juntas en la losa												■

Figura N° 59: Simulación de una programación de losa con malla de acero

Fuente: Elaboración Propia

CRONOGRAMA DE OBRA - PROYECTO DE 10 000 M2 DE LOSA INDUSTRIAL - FIBRA DE ACERO												
Partidas	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6	SEM 7	SEM 8	SEM 9	SEM 10	SEM 11	SEM 12
Conformación de terreno	■	■										
Encofrado de Losa		■	■	■	■	■						
Vaciado de Concreto con fibra de acero				■	■	■	■	■				
Acabado de Losa				■	■	■	■	■				
Curado de Losa							■	■				
Juntas en la losa									■			

Figura N° 60: Simulación de una programación de losa industrial con fibra de acero

Fuente: Elaboración Propia

El gráfico muestra las partidas y el tiempo de ejecución que contempla un proceso constructivo para una losa industrial, con malla de acero y con fibra de acero para ello tomamos como ejemplo una losa industrial de 10 mil m2 y las experiencias observadas en los proyectos desarrollados en Perú.

Como se observa una losa industrial con malla de acero conlleva a mayor tiempo de ejecución toda vez que el vaciado tendría que ser seccionado, incrementado metros de encofrado. Sin embargo, una losa con malla de acero se puede realizar vaciados masivos de hasta 2000 m2 en un solo día.

b) Mejora en el costo de ejecución

Para poder conocer la diferencia económica que demanda un concreto simple y un concreto reforzado con fibra de acero plantearemos un presupuesto en función a los ratios e información obtenida de los proyectos realizados en el Perú.

Para este presupuesto tomaremos como información la losa de 10 mil m<sup>2</sup>, espesor de 20 cm, volumen de concreto de 2100 m<sup>3</sup>, 10.52 kg/m<sup>2</sup> de acero de refuerzo grado 60 incluye alambre de amarre, encofrado de 0.60 m<sup>2</sup> por m<sup>2</sup> de losa, fibra de acero 25 kg/m<sup>3</sup>

Tabla N° 16: Presupuesto de una losa con malla de acero de refuerzo grado 60

Partida	Unid	Metrado	Costo Unitario			Costo Unitario	Costo Total
			M.O	MAT	EQ.		
Concreto f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	2,100.00	115.00	240.00	18.53	373.53	784,413.00
Encofrado y desencofrado	m <sup>2</sup>	600.00	28.00	22.00	2.50	52.50	31,500.00
Acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm <sup>2</sup>	Kg	105,200.00	1.70	4.20	0.25	6.15	646,980.00
Acabado en losa	m <sup>2</sup>	10,000.00	4.50	0.50	5.50	10.50	105,000.00
Curado del concreto	m <sup>2</sup>	10,000.00	1.50	5.80	1.00	8.30	83,000.00
Sellado de juntas	ml	2,570.00	8.90	4.30	1.50	14.70	37,779.00
						Costo Directo (S/.)	1'688,672.00

Fuente: Revista Costos y Presupuesto MAYO-JUNIO 2021

Tabla N° 17: Presupuesto de una losa con fibra de acero

Partida	Unid	Metrado	Costo Unitario			Costo Unitario	Costo Total
			M.O	MAT	EQ.		
Concreto f'c= 210 kg/cm2	m3	2,100.00	115.00	240.00	18.53	373.53	784,413.00
Encofrado y desencofrado	m2	250.00	28.00	22.00	2.50	52.50	13,125.00
Incorporación de Fibra de Acero	Kg	52,500.00	0.30	3.00	0.00	3.30	173,250.00
Acabado en losa	m2	10,000.00	4.50	0.50	5.50	10.50	105,000.00
Curado del concreto	m2	10,000.00	1.50	5.80	1.00	8.30	83,000.00
Sellado de juntas	ml	2,570.00	8.90	4.30	1.50	14.70	37,779.00
						Costo Directo (S/.) 1'196,567.00	

Fuente: Revista Costos y Presupuesto MAYO-JUNIO 2021

Las tablas nos muestran una reducción en el costo de casi el 30 % toda vez que el aplicar la fibra de acero no solo reemplaza a la malla de acero sino las horas hombres producidas en esta actividad y reduce la cantidad de encofrado puesto que nos permite realizar vaciados masivos.

### 5.3 Presentación y análisis de las propiedades físicas en losas industriales con fibra de acero, obtenido en investigaciones nacionales e internacionales

#### 5.3.1 Esfuerzo a la flexotracción en losas industriales reforzado con fibra de acero

Los ensayos de flexión que se han podido evaluar para el presente trabajo son los más aproximados a las condiciones que se han presentado para evitar distorsión en los resultados de la realidad: 1er ensayo de comparación (Chavez, 2018).

En los datos presentes que se realizaron para los agregados y el material cementante se tienen las siguientes características:

) Características de los agregados

Tabla N° 18: Características del agregado fino, grueso y del cemento

<b>Agregado</b>	<b>Forma</b>	<b>T.M.N.</b>	<b>Cantera</b>	<b>Provincia</b>	
Fino	Angular	3/8"	Romaña/autopista	Callao	
Grueso	Angular	3/4"	Nestor Gambeta-km 85		
<b>Descripción</b>			<b>Unidad</b>	<b>A. Fino</b>	<b>A. Grueso</b>
Peso Unitario Seco Compactado			Kg/m <sup>3</sup>	-	1.598
Peso Unitario Suelto Seco			Kg/m <sup>3</sup>	1.431	1.426
Peso Específico de Masa			Kg/m <sup>3</sup>	2.670	2.660
Contenido de Humedad			%	1.6	0.9
Porcentaje de Absorción			%	0.55	0.62
Módulo de Fineza			-	3.6	-
<b>Cemento</b>	<b>Tipo</b>	<b>P. Especifico</b>	<b>Superficie específica</b>		
Portland Sol	I	3.11	3.500		

Fuente: Chavez 2018

- ) Se procedió al diseño de concreto de las muestras sin fibras de acero:  
 Determinar la resistencia requerida: Para pisos industriales se utilizó el Reglamento Nacional de Edificaciones de concreto armado (E-060), la resistencia a compresión es de 280 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla N° 19: Resistencia de diseño

<b>Resistencia a compresión f'c</b>	<b>Resistencia a compresión Requerida f'cr</b>
$f'c < 210 \text{ kg/cm}^2$	$f'cr = f'c + 70 \text{ kg/cm}^2$
$210 \text{ kg/cm}^2 < f'c < 350 \text{ kg/cm}^2$	$f'cr = f'c + 84 \text{ kg/cm}^2$
$f'c > 350 \text{ kg/cm}^2$	$f'cr = 1.1 f'c + 50 \text{ kg/cm}^2$

Fuente: ACI 211.1

De la tabla al tener una resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup> se escoge la siguiente relación  $f'_{cr}=f'_c+84\text{kg/cm}^2$ .

En el contenido del aire se empleó el T.M.N del agregado grueso (3/4") y un slump (3" – 4"). Así mismo se utilizó la tabla

Tabla N° 20: Estimación de aire de diseño y aire atrapado

Revenimiento		Agua kg/m' de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado indicados							
		3.5mm (3/8")	12.5 mm (1/2")	19 mm (3/4")	25 mm (1")	37.5 mm (1 1/2")	50 mm (2")	75 mm (3")	150 mm (6")
(cm)	(pulg)								
<b>Concreto sin aire incluido</b>									
2.5 a 5.0	1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5	6 a 7	243	228	216	2021	190	178	150	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido. %		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto con aire incluido</b>									
2.5 a 5.0	1 a 2	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10	3 a 4	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 17.5	6 a 7	216	205	197	184	174	166	154	-
Contenido promedio total de aire, para el nivel de exposición, %									
Exposición	Baja	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5"	1.0"
	Media	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5"	3.0"
	Extrema	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5"	4.0"

Fuente: ACI 211.1

Con la relación de datos se obtuvo el contenido del aire en un 2%

El contenido del agua según la relación de tamaño máximo nominales del agregado grueso y Slump es 205 Lt. En consecuencia, la relación agua/cemento –  $f'c=364\text{kg/cm}^2$

Tabla N° 21: Relación agua/cemento en peso

f'c a 28 dais (kg/cm2)	Relación agua/cemento en peso	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
450	0.38	--
400	0.42	--
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.6
150	0.79	0.7

Fuente: ACI 211.1

Se procede a realizar una interpolación en la tabla para obtener valores más exactos acorde a su resistencia del concreto

	400	0.42
a/c	364	a/c
	350	0.47

$$a/c = 0.456$$

Luego para poder obtener el contenido de cemento para la mezcla con la ecuación de relación a/c y el contenido de agua se obtuvo 439.91 kg y para determinar el factor cemento es de  $F.C = 439.91\text{kg} / 42.5\text{ kg} = 10.35$  bolsas/m<sup>3</sup>

Teniendo en cuenta el T.M.N de agregado grueso (3/4") y además el módulo de finura (3.6) del agregado fino. Se utilizó la tabla para calcular el peso del agregado grueso.

Tabla N° 22: Contenido del agregado grueso con relación al M.F. del agregado fino

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211.1

Se obtuvo un peso del agregado grueso =  $0.54 \times 1598 = 862.92 \text{ kg/m}^3$ .3

El volumen absoluto para poder determinarlo usaremos el peso de los materiales para la mezcla de concreto, de igual manera su peso específico. En lo cual se empleará la siguiente formula.

Volumen absoluto = Peso/Peso específico

J Vol. Abs. Cemento:  $0.140 \text{ m}^3$

J Vol. Abs. Agua:  $0.205 \text{ m}^3$

J Vol. Abs. A. Grueso:  $0.310 \text{ m}^3$

J Vol. Abs. Aire:  $0.020 \text{ m}^3$

La sumatoria total de volúmenes absolutos es  $0.675 \text{ m}^3$ .

Debido a que se va a calcular para  $1 \text{ m}^3$  de concreto, para el cálculo de volumen de agregado fino, se generará la diferencia de  $1 \text{ m}^3$  y la sumatoria total de los volúmenes absolutos.

J Vol. Abs. A. Fino =  $1 - 0.675 = 0.325 \text{ m}^3$

Mediante su volumen y su peso específico del agregado fino se obtuvo el peso del agregado

Peso A. Fino = volumen x peso específico

$$) \text{ Peso A. Fino} = 851.50 \text{ kg/m}^3$$

En la presentación del diseño en estado fresco es la siguiente

$$) \text{ Cemento: } 439.91 \text{ kg/m}^3$$

$$) \text{ A. Fino: } 851.5 \text{ kg/m}^3$$

$$) \text{ A. Grueso: } 862.92 \text{ kg/m}^3$$

$$) \text{ Agua: } 205 \text{ Lt}$$

La corrección que le corresponde por humedad de agregados tanto para el fino como para el grueso se calcula con el uso de la siguiente fórmula.

Corrección por humedad = Peso seco x (w%/100 + 1)

$$) \text{ A. Fino: } 851.5 \times (1.6/100 + 1) = 865.12 \text{ kg/m}^3$$

$$) \text{ A. Grueso: } 862.92 \times (0.9/100 + 1) = 870.67 \text{ kg/m}^3$$

El aporte de agua a la mezcla por parte del contenido de humedad y el porcentaje de absorción que tienen los agregados, tanto fino como grueso, se calcula usando la siguiente fórmula:

Aporte de agua = ((%w - %Abs) x Agregado seco) /100

$$) \text{ A. Fino} = 9.10 \text{ Lt}$$

$$) \text{ A. Grueso} = 2.43 \text{ Lt}$$

La sumatoria del aporte de agua de ambos agregados resulta: 11.44 Lt

El agua efectiva que se obtendrá a partir de la diferencia entre contenido de agua y la sumatoria de aporte de agua por parte de los agregados:

$$) \text{ Agua} = 205 - 11 = 194 \text{ Lt}$$

Luego para finalizar se realizará la proporción de los materiales, de modo que se calcula dividiendo el peso de la corrección calculado en estado húmedo entre el peso del cemento. La proporción calculada es para 1 m<sup>3</sup> de concreto.

$$J \quad \text{Cemento} = 439.91 \text{ kg} / 439.91 \text{ kg} = 1$$

$$J \quad \text{A. Fino} = 865.12 \text{ kg} / 439.91 \text{ kg} = 1.97$$

$$J \quad \text{A. Grueso} = 870.67 \text{ kg} / 439.91 \text{ kg} = 1.98 = 2$$

$$J \quad \text{Agua} = 205 / 10.35 = 19.7$$

En conclusión, se obtiene la proporción de diseño = 1: 1.97: 2: 19.7

Se procedió al diseño de concreto de las muestras con fibras de acero:

Para el diseño de la mezcla de concreto, se realizó para una consistencia plástica y el slump es de 3" a 4". El tamaño máximo nominal resultó ¾". Así mismo en la tabla, empleado para el diseño de la mezcla anterior (concreto patrón); se adjunta las características de los agregados, tanto finos como gruesos, obtenidos a partir de los ensayos que se realizaron. Lo cual es de vital importancia para este nuevo diseño.

De la misma manera que se realizó en el ensayo del concreto sin fibra de acero se inicia con la determinación de la resistencia requerida, para pisos industriales según el RNE de concreto armado (E-060), la resistencia a compresión será de 280 kg/cm<sup>2</sup>. Debido a esa razón para el cálculo de la resistencia a compresión requerida se emplea la tabla N° 19, empleado en el diseño de la mezcla de concreto sin fibra de acero.

$$f'_{cr} = f'_c + 84 = 280 + 84 = 364 \text{ kg/cm}^2.$$

Para el cálculo del contenido de aire se emplea el T.M.N del agregado grueso de ¾" y el Slump que esté dentro de 3" – 4". De la misma manera se hace uso de la tabla N° 20. Empleado en el diseño del concreto sin fibra de acero

$$J \quad \text{Contenido de aire} = 2\%$$

Para el contenido de agua a partir de la relación de T.M.N. del agregado grueso y el Slump que se empleó en el diseño del concreto sin fibra de acero, la cantidad de agua resulta 205 Lt.

En la relación de agua/cemento con la resistencia de  $f'_c = 364 \text{ kg/cm}^2$  y para el cálculo se empleará la tabla x, la que se utilizó para el diseño del concreto sin fibra de acero.

Se realiza una interpolación para el cálculo de la relación a/c

400	0.42
364	a/c
350	0.47

$$a/c = 0.456$$

Con la relación anterior y el agua de diseño que se obtuvo 205 Lt, se obtendrá el contenido de cemento para el diseño del concreto con fibra de acero

$$) \quad a/c = 0.456 \text{ ----- } c = 439.91 \text{ kg}$$

$$) \quad \text{Factor cemento (F.C)} = 439.91 \text{ kg} / 42.5 \text{ kg} \rightarrow \text{F.C.} = 10.35 \text{ bolsas/m}^3$$

El peso del agregado grueso del mismo modo que se realizó en el diseño del concreto sin fibra de acero, utilizaremos la tabla x y además su T.M.N. del agregado grueso (3/4”), incluyendo su módulo de fineza.

$$) \quad \text{Peso A. Grueso} = b/b. \times \text{peso esp. USC}$$

$$) \quad \text{Peso A. Grueso} = 0.54 \times 1598$$

$$) \quad \text{Peso A. Grueso} = 862.92 \text{ kg/m}^3$$

En el cálculo de los volúmenes absolutos, se hace uso del peso de cada uno de los materiales que componen el concreto, y además su peso específico.

Empleando la formula siguiente:

$$) \quad \text{Vol. Absoluto} = \text{peso/peso específico}$$

$$) \quad \text{Vol. Abs. Cemento} = 0.140 \text{ m}^3$$

$$) \quad \text{Vol. Abs. Agua} = 0.205 \text{ m}^3$$

$$) \quad \text{Vol. Abs. A. Grueso} = 0.310 \text{ m}^3$$

$$) \quad \text{Vol. Abs. Aire} = 0.020 \text{ m}^3$$

Luego se realiza una sumatoria de los Vol. Abs que resulta:  $0.675 \text{ m}^3$

Como se calcula para  $1 \text{ m}^3$  de concreto a partir de la sumatoria de los volúmenes absolutos y con el vol. Abs. A. Fino. Se tiene:

$$) \quad \text{Vol. Abs. A. Fino} = 1 - 0.675 = 0.325 \text{ m}^3$$

Luego procedemos a realizar el cálculo para el peso del A. Fino con el Vol. Abs y su peso específico

$$) \quad \text{Peso del A. Fino} = 851.5 \text{ kg/m}^3$$

Para este concreto como se le agrega las fibras de acero que se les deriva en porcentaje del peso del cemento, obteniendo los siguientes valores:

$$) \text{ Peso de la fibra de metal } 5\% = 0.05 \times 439.91 \text{ kg} = 22 \text{ kg}$$

$$) \text{ Peso de la fibra de metal } 8\% = 0.08 \times 439.91 \text{ kg} = 35.2 \text{ kg}$$

Para la presentación del diseño se obtienen los siguientes valores para los agregados:

$$) \text{ Cemento} = 439.91 \text{ kg/m}^3$$

$$) \text{ A. Fino} = 851.50 \text{ kg/m}^3$$

$$) \text{ A. Grueso} = 862.92 \text{ kg/m}^3$$

$$) \text{ Agua} = 205 \text{ Lt}$$

Corrección por humedad de los agregados, para el diseño se emplea el peso seco y el contenido de humedad de los agregados (fino y grueso) se calcula con la siguiente formula.

$$) \text{ Corrección por humedad} = \text{Peso seco} \times (w\%/100 + 1)$$

$$) \text{ A. Fino} = 865.12 \text{ kg/m}^3$$

$$) \text{ A. Grueso} = 870.67 \text{ kg/m}^3$$

El contenido de humedad de los agregados y el porcentaje de absorción que tienen, aportan agua a la mezcla y se calculará haciendo uso de la siguiente ecuación

$$) ((\%w - \%Abs) \times \text{Agregado seco}) / 100$$

$$) \text{ A. Fino} = 9.1 \text{ Lt}$$

$$) \text{ A. Grueso} = 2.43 \text{ Lt}$$

La sumatoria del aporte de agua de ambos agregados resulta: 11.44 Lt.

Con el resultado, se obtiene un nuevo valor del agua efectiva

$$) \text{ Agua} = 205 - 11 = 194 \text{ Lt}$$

La proporción de diseño de los materiales para el concreto con fibras de acero se calcula dividiendo el peso de la corrección calculado en estado húmedo y el peso del cemento para 1 m<sup>3</sup> de concreto

- ) Cemento = 1
- ) A. Fino = 1.97
- ) A. Grueso = 2
- ) Metal 5% = 0.05
- ) Metal 8% = 0.08
- ) Agua = 19.7

Proporción para diseño con 5% de fibra de acero es = 1: 1.97: 2: 0.05: 19.7

Proporción para diseño con 8% de fibra de acero es = 1: 1.97: 2: 0.08: 19.7

- ) Elaboración de las muestras (viga) después de obtener las proporciones del concreto sin fibra de acero y con fibras de acero, según la norma ASTM C-192 se obtienen las dimensiones de los especímenes rectangulares de 150 mm x 150 mm x 500 mm.
- ) El desmolde de las vigas se realizará a partir de las 24 horas del vaciado y se prosigue al curado de manera convencional para el concreto sin fibra y con fibras de acero.
- ) El ensayo para determinar los resultados esperados será necesario realizar los ensayos correspondientes a cada elemento. Se realizarán en estado fresco y endurecido. En el caso de que no cumplan en estado fresco los requisitos necesarios se rediseñará, para ello se usará el cono de abrams para la determinación de consistencia del concreto en estado fresco y en estado endurecido se realizará el ensayo de flexión para el elemento.
- ) En el desarrollo del ensayo para determinar el Slump del concreto en estado fresco, se realizó 3 veces, los cuales resultaron dentro del intervalo para categorizarlo como una consistencia plástica, tanto para el concreto con fibra de acero y el concreto sin fibra (3" y 3 ½").



Figura N° 61: Ensayo de Slump de concreto con fibra de acero

Fuente: Chumpitaz & Nava

### 5.3.2 Esfuerzo a la tenacidad-fatiga en losas industriales reforzado con fibra de acero

Se usa testigos en forma de viguetas para este tipo de ensayo a los cuales se les aplica una carga monotónica, para obtener el módulo de rotura y una carga cíclica para encontrar el número ciclos de carga a la falla. Obtenido la carga de rotura se usa este valor entre el 90-95 % y 80-85% para obtener la carga de rotura para los testigos sometidos a cargas cíclicas (fatiga).

Rodríguez 2013, para los ensayos se usarán testigo de concreto simple (ensayo de control), y testigos con incorporación de fibra de acero de 20 kg/m<sup>3</sup>, 40 kg/m<sup>3</sup> y 80 kg/m<sup>3</sup>.

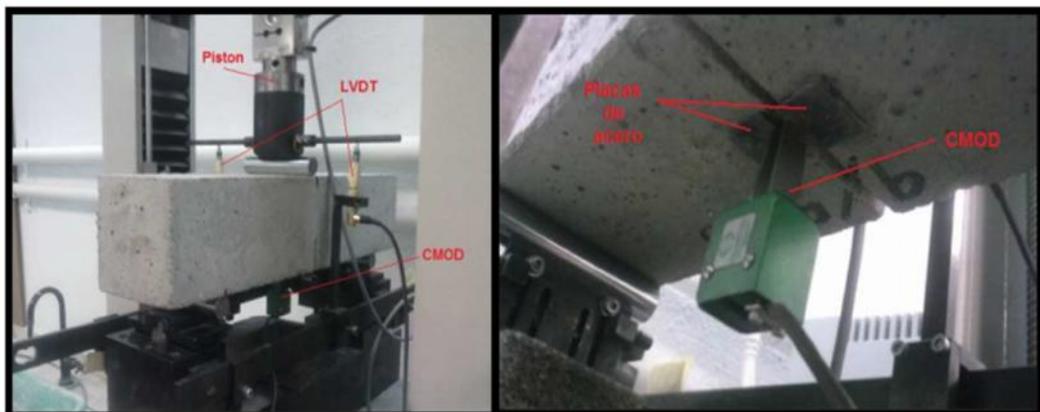


Figura N° 62: Ensayo de fractura a flexotracción con carga central

Fuente: Figueroa 2013

Los resultados que se obtuvieron del módulo de rotura luego de aplicar la carga monotónica fue lo siguiente:

Tabla N° 23: Resultado del Módulo de Rotura

Descripción	Módulos de Rotura a 7 días (MPa)	Módulos de Rotura a 28 días (MPa)	Módulo Elástico a 28 días (MPa)
Ensayo de Control	5.61	6.26	23193
Ensayo con 20 kg/m <sup>3</sup>	6.11	6.81	25551
Ensayo con 40 kg/m <sup>3</sup>	6.34	7.05	27938
Ensayo con 80 kg/m <sup>3</sup>	7.45	8.33	29745

Fuente Rodríguez 2013

Las siguientes figuras muestran los resultados que se obtuvieron al aplicar la carga cíclica, para encontrar el número de ciclos de carga a la falla en cada ensayo.

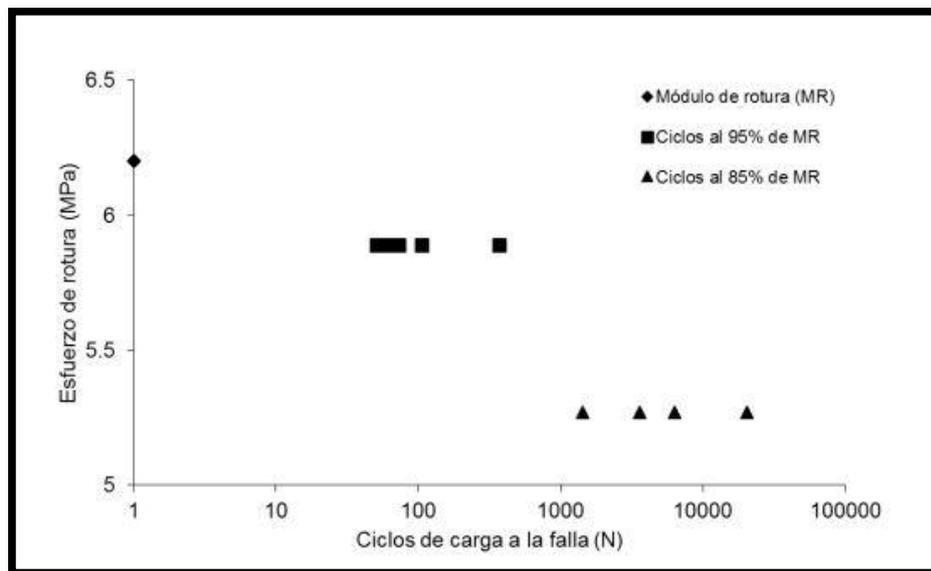


Figura N° 63: Resultados de ensayo de fatiga en la muestra de control

Fuente: Rodríguez 2013

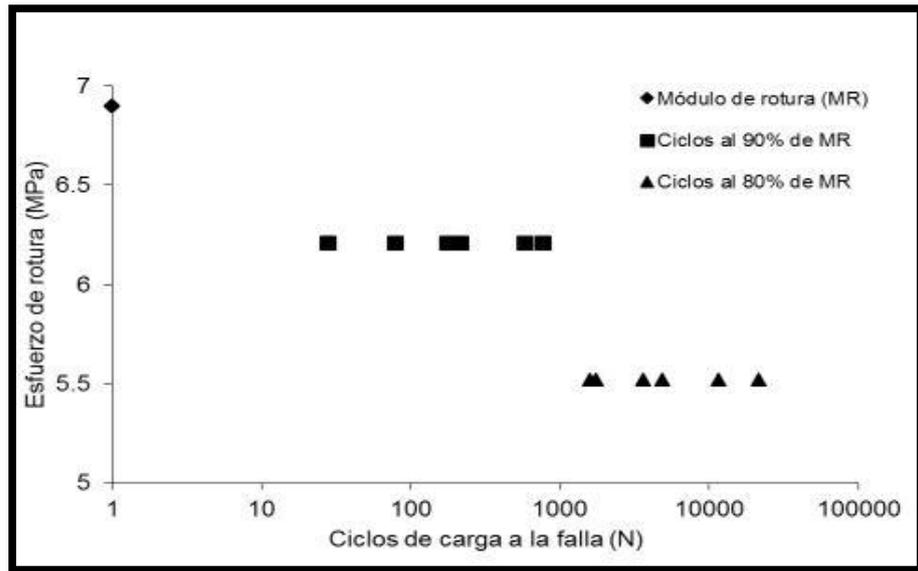


Figura N° 64: Resultados de ensayo de fatiga en la muestra con 20 kg/m<sup>3</sup> de fibras

Fuente: Rodríguez 2013

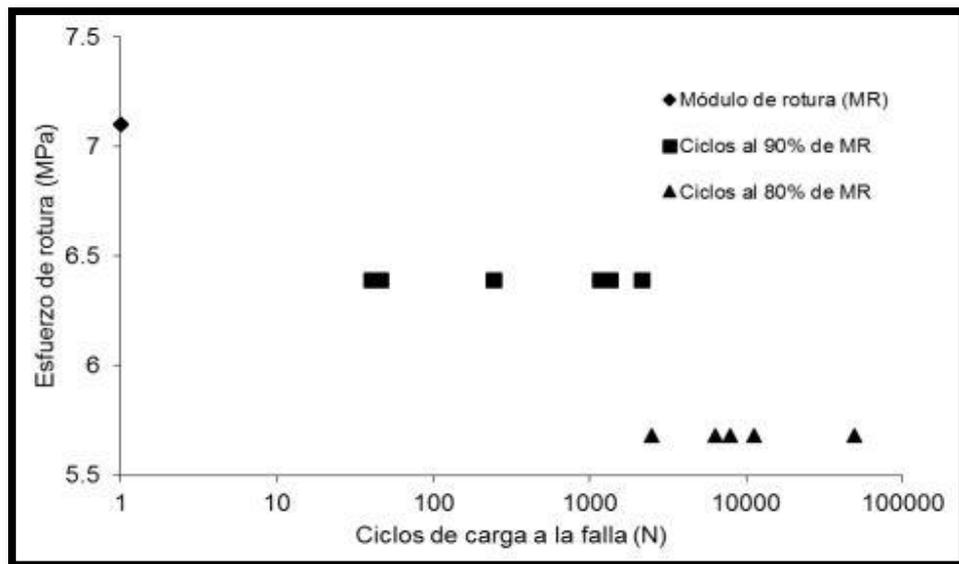


Figura N° 65: Resultados de ensayo de fatiga en la muestra con 40 kg/m<sup>3</sup> de fibras

Fuente: Rodríguez 2013

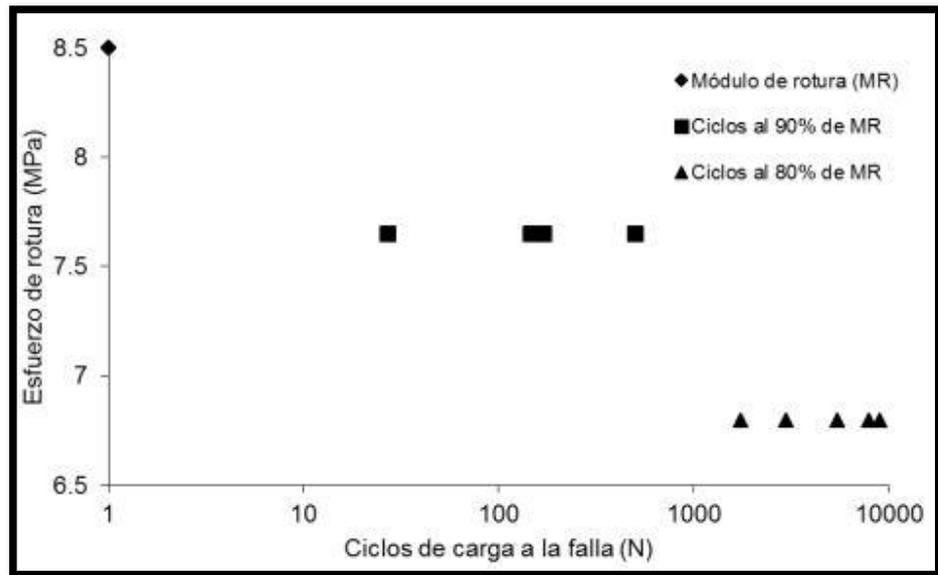


Figura N° 66: Resultados de ensayo de fatiga en la muestra con 80 kg/m<sup>3</sup> de fibras

Fuente: Rodríguez 2013

Estos resultados serán procesados usando la distribución de probabilidad de Weibull, para ellos es claro tener que la función de amenaza o función de riesgo de la distribución log normal decrece con el incremento del tiempo. Esta probabilidad requiere de dos parámetros:

) (Parámetro de forma de la función)

$$\alpha = (\text{COV})^{-1.0}$$

COV: Coeficiente de variación del número de ciclos a la falla a una determinada carga aplicada.

) u (Parámetro de vida característica o parámetro de escala)

$$u = \frac{\mu}{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)}$$

$\mu$ : Promedio del número de ciclos a la falla a una carga aplicada

Gamma: Función estadística Gamma

Singh 2000, involucra la probabilidad a la falla (Pf) en el cálculo del número de ciclos de falla a una carga aplicada.

$$n = l^{-1} \left( \frac{\ln \left( \ln \left( \frac{1}{1-p} \right) \right) + \alpha \ln(u)}{\alpha} \right)$$

n: número de ciclos a la falla a una carga aplicada para una probabilidad de falla  
Se calculó el esfuerzo de rotura para un millón de ciclos de carga ( 6)

Tabla N° 24: Parámetros de Weibull para cada tipo de muestra

Ensayo	Esfuerzo de Rotura (MPa)	$\alpha$	u	n(Pf 50%)	n(Pf 80%)	n(Pf 90%)
Ensayo de control	6.20			1	1	1
	5.89	0.976	131	90	29	14
	5.27	0.92	7669	5149	1502	665
Ensayo con 20 kg/m3	6.90			1	1	1
	6.21	1.033	311	219	73	36
	5.52	0.959	7314	4992	1531	700
Ensayo con 40 kg/m3	7.10			1	1	1
	6.39	0.963	819	560	173	80
	5.68	0.789	13549	8515	2025	783
Ensayo con 80 kg/m3	8.50			1	1	1
	7.65	1.043	215	152	51	25
	6.80	1.823	6089	4981	2675	1773

Fuente: Rodríguez 2013

Con estos datos procederemos a dibujar las curvas de fatiga para cada tipo de muestra, cada una de ellas muestra la ecuación de regresión que mejor le represente.

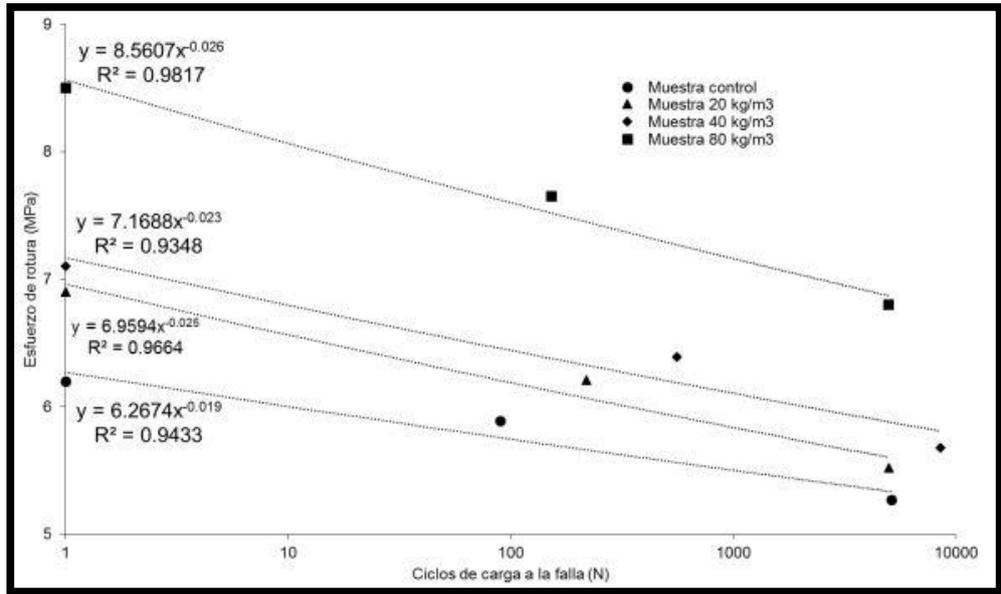


Figura N° 67: Curvas de fatiga con un 50 % de probabilidad de falla

Fuente: Rodríguez 2013

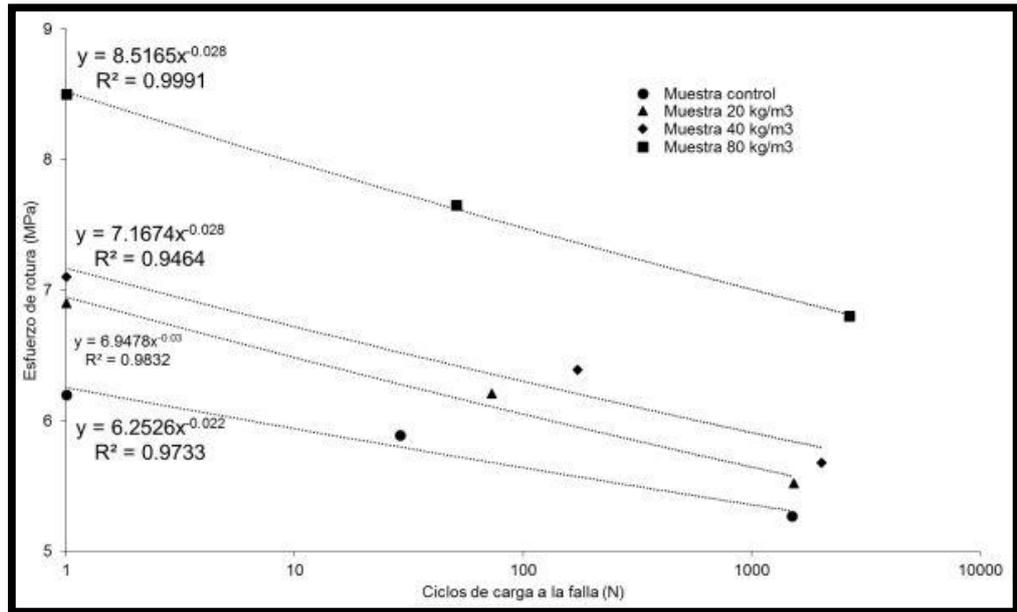


Figura N° 68: Curvas de fatiga con un 80 % de probabilidad de falla

Fuente: Rodríguez 2013

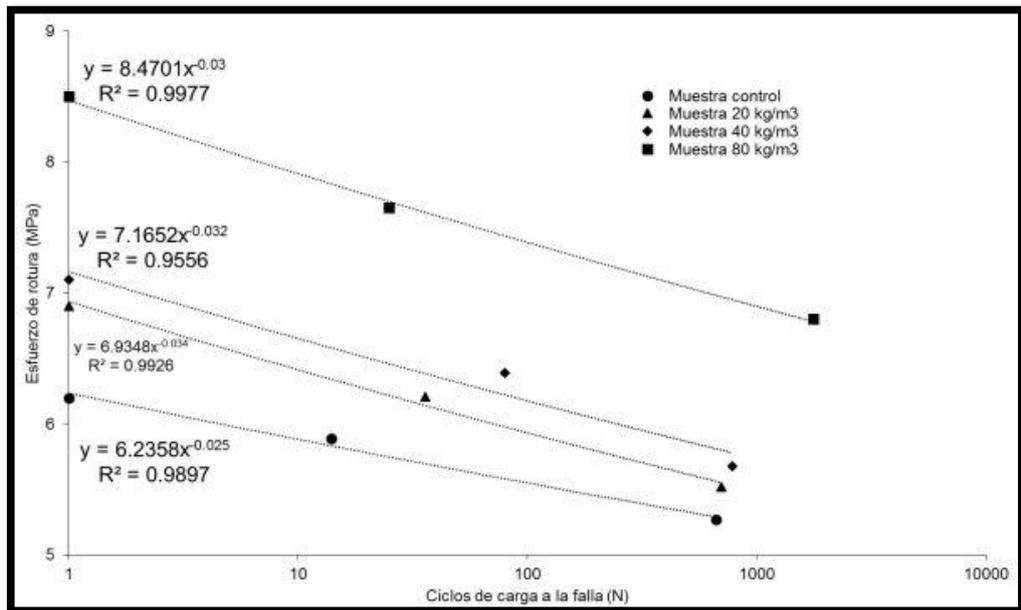


Figura N° 69: Curvas de fatiga con un 90 % de probabilidad de falla

Fuente: Rodríguez 2013

De estas gráficas podremos encontrar el esfuerzo de rotura para un millón de ciclos (  $\sigma_6$  ). Para ello se utilizará la ecuación de regresión que tiene cada uno. La columna llamada variación  $\sigma_6$ , es el resultado de comparar el esfuerzo de rotura para un millón de ciclos (  $\sigma_6$  ) de las mezclas con fibra con el esfuerzo de rotura para un millón de ciclos (  $\sigma_6$  ) de la mezcla control

Tabla N° 25: Parámetros de la curva de fatiga con una probabilidad de falla al 50%

Muestra	% Fibra	MR (MPa)	$\sigma_6$ (MPa)	$\sigma_6$ /MR	Variación $\sigma_6$
Ensayo de Control	0.00 %	6.20	4.82	0.78	0%
Ensayo con 20 kg/m3	0.25%	6.90	4.93	0.71	2%
Ensayo con 40 kg/m3	0.50%	7.10	5.22	0.73	8%
Ensayo con 80 kg/m3	1.00%	8.50	5.98	0.70	24%

Fuente: Rodríguez 2013

Tabla N° 26: Parámetros de la curva de fatiga con una probabilidad de falla al 80%

<b>Muestra</b>	<b>% Fibra</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>6 (MPa)</b>	<b>6/MR</b>	<b>Variación 6</b>
<b>Ensayo de Control</b>	0.00 %	6.20	4.61	0.74	0%
<b>Ensayo con 20 kg/m3</b>	0.25%	6.90	4.59	0.67	0%
<b>Ensayo con 40 kg/m3</b>	0.50%	7.10	4.87	0.69	6%
<b>Ensayo con 80 kg/m3</b>	1.00%	8.50	5.79	0.68	25%

Fuente: Rodríguez 2013

Tabla N° 27: Parámetros de la curva de fatiga con una probabilidad de falla al 90%

<b>Muestra</b>	<b>% Fibra</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>6 (MPa)</b>	<b>6/MR</b>	<b>Variación 6</b>
<b>Ensayo de Control</b>	0.00 %	6.20	4.42	0.71	0%
<b>Ensayo con 20 kg/m3</b>	0.25%	6.90	4.34	0.63	-2%
<b>Ensayo con 40 kg/m3</b>	0.50%	7.10	4.61	0.65	4%
<b>Ensayo con 80 kg/m3</b>	1.00%	8.50	5.60	0.66	27%

Fuente: Rodríguez 2013

### 5.3.3 Esfuerzo al impacto en losas industriales reforzadas con fibra de acero

Los ensayos que se muestran a continuación presentan 2 diferentes muestras de fibras de acero (S-900 y S-950) en la elaboración de los testigos, los cuales presentan dimensiones de 12.5 x 10.0 x 2.5 cm. Fueron apoyados sobre un soporte aglomerado de madera de 25 mm y fueron sujetas en los centros de los lados extremos.

Tabla N° 28: Características mecánicas de la fibra

<b>Fibras</b>		
<b>Propiedades</b>	<b>S-900</b>	<b>S-950</b>
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1.18	1.18
Diámetro (Micras)	37.5	80
Resistencia (N.mm <sup>2</sup> )	350	300
Módulo de elasticidad (N.mm <sup>2</sup> )	8.850	6500

Fuente: Mármol P.

Se empleo una esfera de 540 g para el impacto, la cual fue guiada a través de un tubo e inicialmente mantenida por un electroimán, se situó a 40 cm de altura con respecto a la cara superior de la probeta. Este ensayo ayudo a determinar la cantidad de energía de impacto precisa que da lugar a la primera fisura y dando lugar finalmente a la rotura de la probeta. Las probetas tenían la edad de 28 días.

Primera evaluación con fibra de acero S-900:

Tabla N° 29: Resultados de impacto para la fibra S-900

	<b>N° de impactos de 540 g desde 40 mm de caída libre</b>							
	<b>L = 0 mm</b>		<b>L = 10 mm</b>		<b>L = 22 mm</b>		<b>L = 38 mm</b>	
	Fisura	Rotura	Fisura	Rotura	Fisura	Rotura	Fisura	Rotura
<b>a/c = 0.40 sin fibra</b>	2	2						
<b>a/c = 0.50 S-900 – 1%</b>			3	35	3	70	5	125
<b>a/c = 0.50 S-900 – 1.5%</b>			3	73	5	105	6	185
<b>a/c = 0.50 S-900 – 2%</b>			4	110	6	155		

Fuente: Mármol P.

Segunda evaluación con fibra de acero S-950:

Tabla N° 30: Resultados de impacto para la fibra S-950

	N° de impactos de 540 g desde 40 mm de caída libre					
	L = 0 mm		L = 10 mm		L = 22 mm	
	Fisura	Rotura	Fisura	Rotura	Fisura	Rotura
a/c = 0.40 sin fibra	2	2				
a/c = 0.50 S-950 – 1%			3	16	3	36
a/c = 0.50 S-950 – 1.5%			3	25	3	58
a/c = 0.50 S-950 – 2%			3	48	3	75

Fuente: Mármol P.

#### 5.3.4 Esfuerzo a la compresión en losas industriales reforzado con fibra de acero

En los ensayos de compresión se realizó la comparación entre un concreto con fibra de acero y un concreto normal. Evaluamos el primer ensayo de comparación (para concretos de 140, 175 y 210 kg/cm<sup>2</sup>)

Se mostrará en primer lugar las proporciones de los insumos que se emplearán en las probetas:

Tabla N° 31: Proporciones de insumos y características de diseño de mezcla patrón

Descripción	Cemento		Agua	a/c	Aren a	Piedra		Slum p
	Kg/m <sup>3</sup>	Bol/m <sup>3</sup>	Lt/m <sup>3</sup>		%	%	TMN	Pulg
1 concreto Patrón f'c = 140 kg/cm <sup>2</sup>	280	6.59	186.4 0	0.70	40	60	3/4"	3.8
2 concreto Patrón f'c = 175 kg/cm <sup>2</sup>	325	7.65	186.8 0	0.60	40	60	3/4"	3.7
3 concreto Patrón f'c = 210 kg/cm <sup>2</sup>	360	8.47	187.1 0	0.54	40	60	3/4"	3.8

Fuente: Díaz J.

Al realizarse el ensayo correspondiente para determinar su resistencia a la compresión, brindo los siguientes valores, según los días:

Tabla N° 32: Resumen de resistencias obtenidas según diseño patrón

Descripción	f'c	f'c	f'c
	7 días	14 días	28 días
1. Concreto Patrón f'c = 140 kg/cm <sup>2</sup>	90.36	110.42	140.36
2. Concreto Patrón f'c = 175 kg/cm <sup>2</sup>	124.78	142.96	175.91
3. Concreto Patrón f'c = 210 kg/cm <sup>2</sup>	147.60	172.65	210.47

Fuente: Díaz J.

Ensayo para concreto de 140 kg/cm<sup>2</sup> con adiciones de porcentaje en 1.20, 3.20 y 5.20% de fibra de acero a las muestras:

Tabla N° 33: Resumen para f'c = 140 kg/cm<sup>2</sup> adicionando fibras de acero

Descripción	f'c	f'c	f'c
	7 días	14 días	28 días
1. Concreto Patrón	90.36	110.42	140.36
2. Concreto Patrón + 1.20% de fibras de acero	94.87	113.31	142.20
3. Concreto Patrón + 3.20% de fibras de acero	97.71	117.25	145.09
4. Concreto Patrón + 5.20% de fibras de acero	101.10	119.75	148.86

Fuente: Díaz J.

Ensayo para concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup> con adiciones de porcentaje en 1.20, 3.20 y 5.20% de fibra de acero a las muestras:

Tabla N° 34: Resumen para una f'c = 175 kg/cm<sup>2</sup> adicionando fibras de acero

Descripción	f'c	f'c	f'c
	7 días	14 días	28 días
1. Concreto Patrón	124.78	142.96	175.91
2. Concreto Patrón + 1.20% de fibras de acero	128.74	145.27	181.83
3. Concreto Patrón + 3.20% de fibras de acero	130.81	149.59	182.38
4. Concreto Patrón + 5.20% de fibras de acero	133.80	154.17	186.87

Fuente: Díaz J.

Ensayo para concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> con adiciones de porcentaje en 1.20, 3.20 y 5.20% de fibra de acero a las muestras:

Tabla N° 35: Resumen para una resistencia  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  adicionando fibras de acero

<b>Descripción</b>	<b>f'c</b>	<b>f'c</b>	<b>f'c</b>
	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>
1. Concreto Patrón	147.60	172.65	210.47
2. Concreto Patrón + 1.20% de fibras de acero	153.28	174.99	219.26
3. Concreto Patrón + 3.20% de fibras de acero	159.12	179.43	224.83
4. Concreto Patrón + 5.20% de fibras de acero	163.77	182.97	234.86

Fuente: Díaz J.

### 5.3.5 Esfuerzo a la cortante en losas industriales reforzado con fibra de acero

Se presenta para el ensayo a la cortante las condiciones de los materiales empleados para un concreto con fibras de acero de una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Características de las fibras de acero empleadas

Tabla N° 36: Propiedades de las fibras de acero

<b>Fibras</b>	<b>Largo, l (mm)</b>	<b>Diámetro, d (mm)</b>	<b>Resistencia a tracción (Mpa)</b>	<b>Relación de Aspecto (l/d)</b>
<b>RC-65/35-BN</b>	35	0.55	1100	64
<b>RC-80/60-BN</b>	60	0.75	1050	80

Fuente: Carmona S. y Cabrera M.

Características de los materiales y sus adiciones:

Tabla N° 37: Características de los concretos estudiados

<b>Material</b>	<b>Concreto de Control</b>			
Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	350			
Agua (lt/m <sup>3</sup> )	200			
Piedra (kg/ m <sup>3</sup> )	943			
Arena (kg/ m <sup>3</sup> )	772			
Resistencia a la compresión (MPa)	23 (0.6)			
Material	FRC. 0.5-65	FRC. 1.0-65	FRC. 0.5-80	FRC. 1.0-80
Volumen de fibras (%)	0.5	1.0	0.5	1.0
Aspecto de las fibras (l/d)	65	65	80	80
Resistencia a la compresión (MPa)	22 (1.0)	21 (0.6)	23 (0.0)	21 (0.6)

Fuente: Carmona S. y Cabrera M.

Resultados de los ensayos que se realizaron para la cortante con adiciones de diferentes fibras de acero:

Tabla N° 38: Resistencia al corte obtenido en los concretos ensayados

<b>Concreto</b>	<b>Conc Control</b>	<b>HRF- 0.5-65</b>	<b>HRF- 0.5-80</b>	<b>HRF- 1.0-65</b>	<b>HRF- 1.0-80</b>
$\sigma_{max}$ , MPa	3.97	6.97	8.75	8.01	7.10
S, desviación estándar (MPa)	0.12	0.82	1.06	0.76	1.32
Coefficiente de variación	3.0	11.8	12.1	9.5	18.6

Fuente: Carmona S. y Cabrera M.

## 5.4 Análisis del insumos, rendimiento y costo unitario de la fibra de acero en losas industriales

### 5.4.1 Análisis de proceso constructivo de losas industriales con fibra de acero

Según lo observado en los cuadros de programaciones masivas, haciendo las comparaciones entre una losa con refuerzo convencional y la fibra de acero se observa que el uso de la fibra no solo reduce la partida del armado y colocado de malla de acero, a la vez esté presenta cambios en las partidas antecesoras como el encofrado, toda vez que el vaciado es masivo.

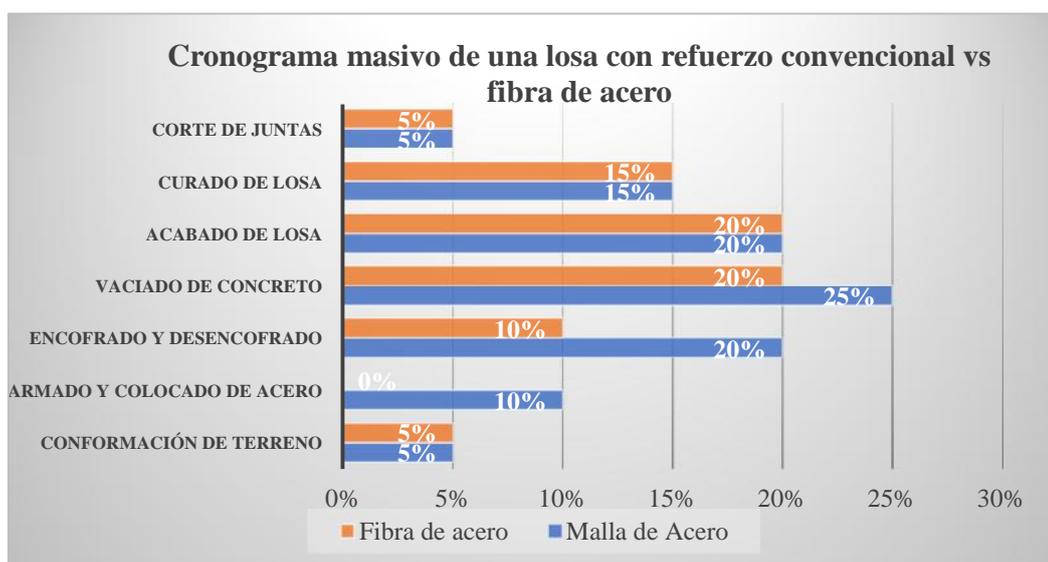


Figura N° 70: Cronograma masivo de una losa con refuerzo convencional  
Vs. una losa con fibra de acero

Fuente: Elaboración propia

El cuadro nos manifiesta que una losa con refuerzo convencional tiene un mayor tiempo de ejecución en función a una losa con refuerzo de fibra de acero. Esta variación es aproximadamente en un 25 %.

### 5.4.2 Análisis económico de la incorporación de fibra de acero en losas industriales

Para dar un análisis de la influencia en el costo de la fibra de acero vs un refuerzo convencional a una losa industrial elaboramos el siguiente gráfico donde detallaremos la influencia de cada partida en el presupuesto total.

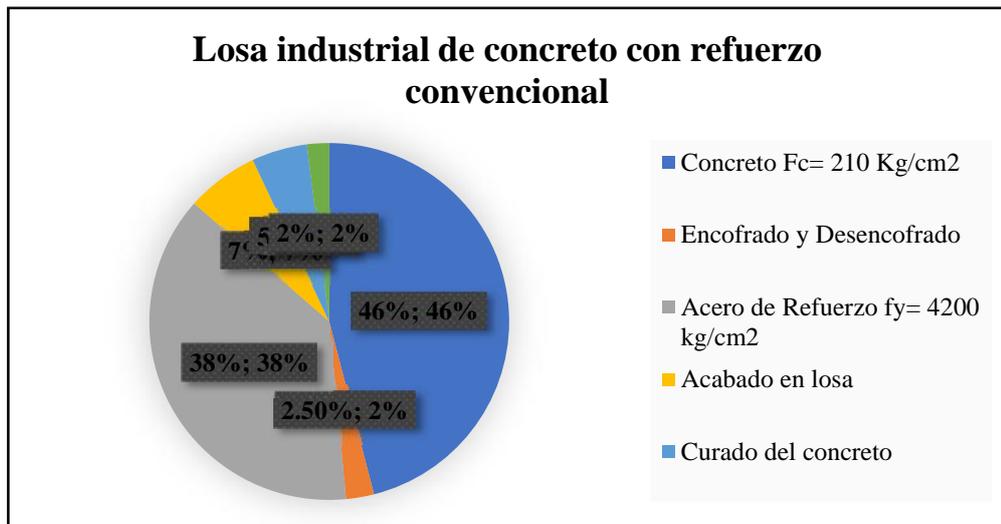


Figura N° 71: Análisis del costo de una losa industrial con refuerzo convencional

Fuente: Elaboración propia

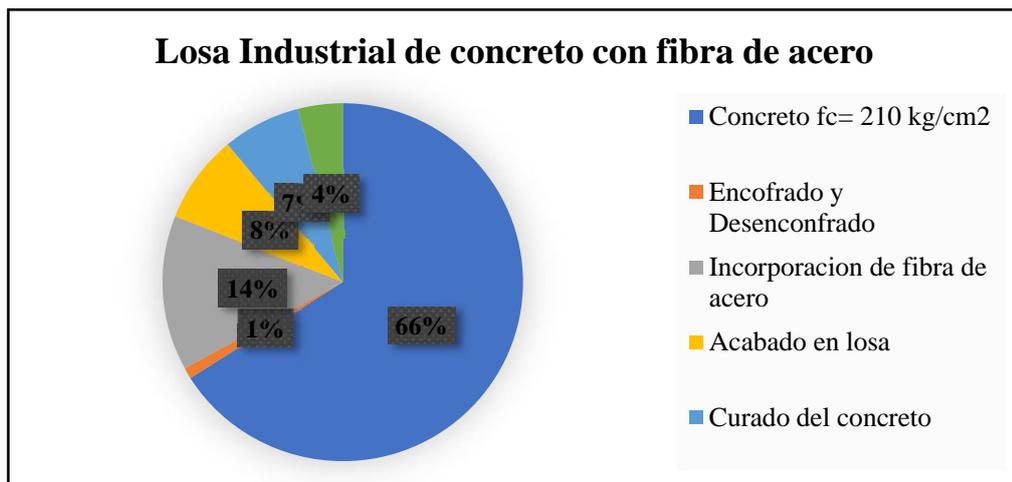


Figura N° 72: Análisis del costo de una losa industrial con fibra de acero

Fuente: Elaboración propia

Los gráficos nos muestran que la incidencia de costo más alto después del concreto es la malla de acero y la fibra de acero, sin embargo, si analizamos estos dos componentes la variación es casi del 35% entre los dos recomendándose el uso de la fibra de acero en temas de costos.

### 5.4.3 Análisis de esfuerzo a la flexotracción en losas industriales con fibra de acero

Ensayo a flexión del concreto sin fibra de acero a los 7 días y 28 días de edad

Tabla N° 39: Resistencia a la flexión del concreto sin incorporación de fibra

<b>Ensayo de resistencia a la flexión de concreto</b>								
Descripción	Edad	Ancho (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga max (kg. f)	Módulo rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de rotura prom. (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>VIG-1</b>	7 días	15.10	15.00	45.00	679.50	3233.74	42.93	42.75
<b>VIG-2</b>		15.00	15.00	45.00	675.00	3293.17	43.91	
<b>VIG-3</b>		15.20	15.10	45.00	684.00	3196.48	41.5	
<b>VIG-4</b>	28 días	15.10	15.00	45.00	679.50	3591.64	47.57	46.75
<b>VIG-5</b>		15.10	15.10	45.00	679.50	3550.86	46.41	
<b>VIG-6</b>		15.00	15.10	45.00	675.00	3516.75	46.27	

Fuente: Chávez M

Ensayo a flexión del concreto con fibra de acero de un 8% a los 7 días y 28 días de edad

Tabla N° 40: Resistencia a la flexión del concreto con incorporación en un 8% de fibra

<b>Ensayo de resistencia a la flexión de concreto</b>								
Descripción	Edad	Ancho (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga max (kg. f)	Módulo rotura (kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de rotura prom. (kg/cm <sup>2</sup> )
Dosificación 8%								
VIG-1	7	15.00	15.00	45.00	675.00	3578.94	47.72	46.75
VIG-2	días	15.20	15.10	45.00	684.00	3524.74	45.77	
VIG-3		15.10	15.00	45.00	679.00	3530.26	46.76	
VIG-4	28	15.00	15.10	45.00	675.00	3816.18	50.21	50.00
VIG-5	días	15.10	15.10	45.00	679.50	3750.86	49.02	
VIG-6		15.00	15.10	45.00	675.00	3859.17	50.78	

Fuente: Chávez M

Gráfica de comparación entre ambos ensayos y verificar sus rendimientos ante la resistencia a la flexión y su edad de los testigos

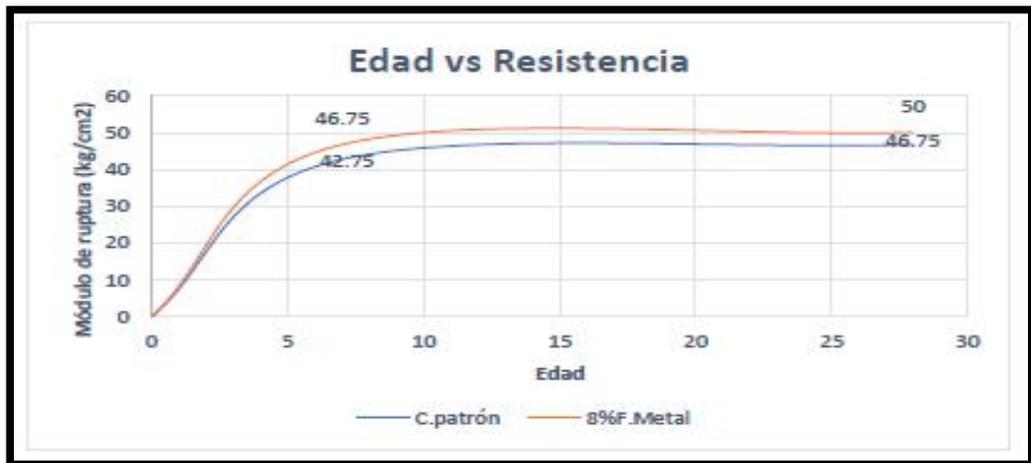


Figura N° 73: Gráfica de comparación del ensayo a la flexotracción entre un concreto normal y uno con fibra de acero

Fuente: Chavez M.

Por la gráfica que se presenta se puede obtener los valores, la resistencia del concreto con fibra de acero es superior a los 7 días por  $4 \text{ kg/cm}^2$  y a los 28 días sigue siendo superior por un valor de  $3.25 \text{ kg/cm}^2$ .

#### 5.4.4 Análisis de esfuerzo a la tenacidad-fatiga en losas industriales con fibra de acero

Después del análisis estadístico y hallar la variación de esfuerzo de rotura para un millón de ciclos ( 6) de las mezclas con fibra comparada con la mezcla control, se obtiene que la fatiga no incrementa si adicionamos  $20 \text{ kg/m}^3$  de fibra de acero, sin embargo, si adicionamos  $40 \text{ kg/m}^3$  aumenta un 6% y esto tiene a subir mientras mayor sea la cantidad de fibra metálica a incorporar. Lo cual indica que un concreto tiene un mejor desempeño con cargas cíclicas a partir de que se le añade más de  $40 \text{ kg/m}^3$  de este componente.

Tabla N° 41: Promedio de la variación de 6

<b>Muestra</b>	<b>% Fibra</b>	<b>MR (MPa)</b>	<b>Promedio de Variación</b>
<b>Ensayo de Control</b>	0.00%	6.20	0%
<b>Ensayo con 20 kg/m3</b>	0.25%	6.90	0%
<b>Ensayo con 40 kg/m3</b>	0.50%	7.10	6%
<b>Ensayo con 80 kg/m3</b>	1.00%	8.50	25%

Fuente: Rodríguez 2013

#### 5.4.5 Análisis de esfuerzo a al impacto en losas industriales reforzado con fibra de acero

Para el análisis al ensayo de impacto se procede a ver los resultados que se obtuvieron para la fibra S-900 el número de impactos es despreciable, mientras que la rotura del espécimen se produce un incremento entre 2 y 3 veces mientras se ve un aumento del volumen de las fibras de acero.

Para la fibra S-950, en su primera fisura sus valores que se muestran son constantes, aunque se aumente el volumen o longitud de las fibras. Pero con respecto a su rotura, el valor se duplica en los resultados del ensayo.

De los resultados obtenidos se puede observar que mientras se agrega contenido de fibras de acero y su longitud es mayor, presenta una mayor resistencia al impacto.

#### 5.4.6 Análisis de esfuerzo a la compresión en losas industriales con fibra de acero

En el diseño final para el ensayo de compresión, se obtuvieron las siguientes resistencias del concreto: 140 kg/cm<sup>2</sup>, 175 kg/cm<sup>2</sup> y 210 kg/cm<sup>2</sup> sometidos a la prueba de compresión después de concluir la edad de 28 días, con esto se pudieron realizar los cuadros comparativos y sacar las conclusiones necesarias para esta propiedad física.

#### 5.4.7 Análisis de esfuerzo a la cortante en losas industriales reforzado con fibra de acero

En el análisis del ensayo se observa como al incorporar fibras de acero al concreto aumenta significativamente su resistencia máxima alcanzada, con respecto al concreto sin fibras de acero. Esto nos ayudara para poder analizar su aporte al concreto para la resistencia al corte.

### 5.5 Contrastación de hipótesis

#### 5.5.1 Contrastación de hipótesis específica 1

Hi1: La incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico mejorará la fatiga del pavimento en fábricas industriales.

Ho1: La incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico no mejorará la fatiga del pavimento en fábricas industriales.

Según el método racional francés se halló el módulo de rotura, para luego proceder a ensayar con cargas dinámicas, de ellos se procesó la información de manera estadística para obtener valores para un millón de ciclos de carga, esto nos servirá para corroborar si un concreto con fibras de acero supera la energía de ruptura respecto a un concreto de control, en las tablas N° 25, 26 y 27 se muestra los resultado de una comparación entre el esfuerzo de rotura para un millón de ciclos ( 6) de las mezclas con fibra y el esfuerzo de rotura para un millón de ciclos ( 6) de la mezcla control tenga un porcentaje de variación favorable.

Rodríguez 2013, la acción repetida de esfuerzos de flexión hace que se tenga una pérdida progresiva de propiedades estructurales en el concreto, a esta etapa se le conoce como fatiga del material. El comportamiento en fatiga normalmente es estudiado en términos del esfuerzo aplicado expresado como un porcentaje del módulo de rotura (conocido como relación de esfuerzos) contra el número de ciclos de carga aplicados a la falla. Los resultados son representados en curvas conocidas como las curvas de Whöler. Las pendientes de las curvas de fatiga aumentan con la inclusión de fibras metálicas en el concreto, esto genera mejoras en el módulo de

rotura lo cual concluye mejoras de la vida a fatiga de un concreto con fibra de acero respecto al concreto control.

Por ende, de acuerdo con la investigación realizada y los resultados obtenidos en esta investigación pasada, se valida la hipótesis alternativa (Hi1).

#### 5.5.2 Contrastación de hipótesis específica 2

Hi2: La incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico mejorará la resistencia a la flexión del pavimento en fábricas industriales.

Ho2: La incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico no mejorará la resistencia a la flexión del pavimento en fábricas industriales.

El ensayo a la flexotracción se analizará por ruptura de vigas, a los 7 días y 28 días, nuestra investigación presenta las tablas N° 38 y N° 39 donde nos indican las resistencias a la flexión que tiene un concreto control y un concreto con fibra de acero. Estas tablas muestran que un concreto con fibra de acero a los 7 días alcanza la misma resistencia a la flexión que un concreto control a los 28 días.

Lo mismo podemos apreciar en la figura N° 68, que nos muestra una gráfica comparativa de la resistencia versus los días, donde se ve la relevancia del concreto con una adición del 8% de la fibra metálica.

Chavez 2018, “Análisis comparativo del comportamiento del concreto sin refuerzo, concreto reforzado con fibras de acero wirand® ff3 y concreto reforzado con fibras de acero wirand® ff4 aplicado a losas industriales de pavimento rígido”. Indica que la resistencia a la flexión incrementa con la incorporación de fibras y concluye que el mejor módulo de ruptura se obtuvo con la mayor dosificación (30 kg/m<sup>3</sup>), En tanto, en la investigación se evidenció la influencia de la fibra de metal en el comportamiento a flexión con una dosificación de 8% de fibra respecto al peso del cemento. Por ello, se corrobora la similitud de resultados en función al uso de la mayor dosificación realizada en la investigación.

En base a estas tablas y gráficos que fueron realizados en otras investigaciones podemos dar por validez a nuestra hipótesis alternativa (Hi2) y rechazar (Ho2)

### 5.5.3 Contrastación de hipótesis específica 3

Hi3: La incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico mejorará la resistencia al impacto del pavimento en fábricas industriales.

Ho3: La incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico no mejorará la resistencia al impacto del pavimento en fábricas industriales.

Mármol 2013, una de las importantes características de un concreto incorporado con fibra de acero es la resistencia que le da a los impactos por absorción de energía, siendo este una resistencia de 3 a 10 veces más de un concreto en estado endurecido, así mismo presenta una menor tendencia a la desfragmentación y desprendimiento. Todo esto se debe a que las fibras tienen propiedades características al arrancamiento y deformación.

Según la UNE 83.514/90, para medir la resistencia al impacto de un concreto hidráulico sin reforzamiento y con reforzamiento de fibra metálica, se ejecutará cargas repetidas de impacto, para ellos se lanzará una masa de 4.5 kg desde una altura de 46 cm. En la investigación se consiguió un ensayo que trabaja con una esfera de 450 g. a una altura de 50 cm para dos tipos de fibras de acero S-900 y S-950 y los resultados se muestran en las tablas N°28 y N°29 donde se corrobora que para poder optimizar la resistencia al impacto la fibra debería tener una mayor longitud y diámetro.

Con esta investigación podemos dar como certera a nuestra hipótesis alternativa (Hi3)

### 5.5.4. Contrastación de hipótesis general

Hipótesis general: “La incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico optimizará las propiedades físicas del pavimento en fábricas industriales”.

Los resultados obtenidos en las hipótesis específicas N° 01, 02 y 03, afirman la hipótesis general, ya que al incorporar fibras metálicas al concreto hidráulico esta mejora sus propiedades, sin embargo todo esto dependerá de las características de la fibra y dosificación que se realice en el diseño de mezcla, puesto que los resultados obtenidos en cada ensayo (fatiga, flexión e impacto), dan a conocer que el porcentaje de fibra en el concreto influye en la mejora a la resistencia ante los ensayos sometidos.

## CONCLUSIONES

1. De acuerdo con los ensayos revisados en esta investigación se pudo concluir que, la incorporación de fibras metálicas en losas industriales mejora las propiedades físicas como; la resistencia a la fatiga donde presentó una mejora de 8 %, la resistencia a la flexión donde se obtuvo una mejora de 7 % y la resistencia al impacto donde se presencié una mejora de 3 a 10 veces más, estas comparaciones son en función a un concreto control (sin fibra). Sin embargo, cabe resaltar que la mezcla (concreto hidráulico + fibra de acero) en un estado plástico presenta una reducción en el asentamiento (ensayo de cono de abrams) y aumenta el contenido de aire (porcentaje de vacíos), pero estos se mantienen dentro de los rangos permitido por el ACI 544.1R.
2. En el ensayo de fatiga las probabilidades de falla consideradas indicaron que la vida de fatiga no aumenta en una mezcla con 20 kg/m<sup>3</sup> de fibra, mientras que en una mezcla con 40 kg/m<sup>3</sup> aumentó un 6% y 25% en una mezcla con 80 kg/m<sup>3</sup> de fibra, estos respecto a una mezcla control. Lo que deduce que existe un mejor desempeño ante cargas cíclicas a partir de concretos hidráulicos con contenido de fibras metálicas superiores a 40 kg/m<sup>3</sup>.
3. Del ensayo a la flexotracción analizando los resultados que se obtuvieron se evaluó que el concreto sin fibra de acero obtuvo una resistencia de 46.75 Kg/cm<sup>2</sup>, y el concreto con fibra de acero adicionado en un 8% obtuvo una resistencia de 50.00 Kg/cm<sup>2</sup>, con estos valores determinamos que la fibra de acero incluido en el concreto influye positivamente en un 6.95 % a la resistencia de la flexotracción.
4. Para el ensayo de impacto se utilizaron dos tipos de fibras S-900 y S-950 de las que se concluyó, que existe un gran aumento del número de impactos para la rotura, este, así mismo el número de impactos para la fisura es casi despreciable. Y en una comparativa entre la S-900 y S-950 el número de impactos a la rotura se diferencia casi al doble, de uno del otro respectivamente. Estos resultados nos indicaron que mientras mayor contenido de fibra y longitud la resistencia al impacto se incrementa.

5. Para el ensayo a la compresión se realizó dos grupos de muestra, el primero de un concreto control y el segundo de un concreto con fibras de acero, a su vez estos testigos se realizaron para resistencias de 140, 175 y 210 kg/cm<sup>2</sup>, y una dosificación de 1.20, 3.20 y 5.20 % de fibras de acero adicionado, lográndose apreciar en la tabla N° 34 que los testigos con resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> alcanzaron a los 28 días con una dosificación de 5.20 % una resistencia de 234.86 kg/cm<sup>2</sup>, de esto podemos derivar que la fibra de acero mejoró las propiedades a la compresión de un concreto, a su vez tiene el beneficio de conseguir su máxima resistencia en un tiempo menor a los 28 días
  
6. Según el cuadro de análisis de programaciones masivas que realizamos, podemos concluir que la incorporación de fibra de acero no solo reemplaza en tiempos a la partida de armado y colocado de malla de acero, también beneficia a partidas antecesoras como es el encofrado y vaciado, ya que podemos ejecutar mayores volúmenes de concreto logrando que se mantenga las propiedades físicas, y el acabado correcto para una losa industrial
  
7. Después de observar el gráfico de análisis de partidas con mayor incidencia en costos en un presupuesto de losa industrial, podemos concluir que el refuerzo de una losa es una de las partidas con mayor inversión después del vertimiento de concreto, sin embargo, reemplazar un refuerzo convencional por fibra de acero reduce el costo directo en casi un 35 %.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de la fibra de acero, sobre todo en proyectos donde la holgura es muy pronto, el acceso a una malla convencional es escaso, o se tenga tramos de gran dimensión como las losas industriales.
2. Se recomienda brindar charlas de beneficios de la incorporación de fibra de acero, en especial al directorio de las industrias, comerciales, pesqueras, mineras, gaseoductos, etc, con el propósito que, ante una decisión de implementar un nuevo patio de maniobras o almacenes, tengan conocimiento y puedan solicitar a su área de proyectos aplicar un diseño con este insumo, toda vez que el beneficio económico es abismal.
3. Se recomienda elegir bien el tipo, tamaño y forma de la fibra ya que es esencial en el concreto reforzado, puesto que depende de ello las altas resistencias que se proyectan obtener en el concreto, por tanto, se debe de priorizar y analizar cada uno de esos aspectos para el diseño.
4. Se recomienda que para suelos con corrosión elevada se utilicen fibras de acero galvanizado y para temperaturas mayores (1200 °C) se debe hacer uso de fibras de acero inoxidable.
5. Las fibras de acero para las losas industriales de concreto son benefactorías al aportar de forma positiva en sus propiedades del concreto hidráulico, pero no sustituyen al acero convencional en otras aplicaciones que se den estructuralmente, por lo que se recomienda analizar y diseñar para cada trabajo su estudio correspondiente y llegar a la conclusión de si es favorable o no su aplicación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI. (2009). State of art report on fiber rein reinforced concrete, ACI 544.IR-96.
- ACI. 544.3R (2008). Guide for specifying, proportioning, and production of fiber-reinforced concrete. Farmington Hills, MI.
- Asencio E. (2008). Comportamiento a cortante de elementos constructivos fabricados con hormigón autocompactante y hormigón reforzado con fibras (Tesis de Master). Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Baltazar, A. (ed). (2017). Evaluación de la reproducibilidad del ensayo de Barcelona para el control del hormigón reforzado con fibra. Congreso brasileño del concreto IBRACON. Brasil.
- Caballero, K. (2015). Estudio teórico-experimental de soportes esbeltos de hormigón armado con fibras de acero sometidos a compresión y carga lateral cíclica (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Caballero, M. & Karen E8. (2017). Propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras metálicas. PRISMA Tecnológico. Vol. 8
- Carrillo, J., Aperador, W. y Gonzales, G. (2013). Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero. *SciELO*, 14 (3).
- Carmona. S & Cabrera, M (2009). Comportamiento al corte de hormigones reforzados con fibras de acero. Universidad Técnica Federico Santa María. Chile
- Córdova, C. (2012). Comparación de la resistencia equivalente a la flexión entre las fibras wirand producidas en Italia y las producidas en Perú (Tesis de grado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Perú
- Chávez, M. (2018). Comportamiento a flexión de pisos industriales con reforzamiento de fibras en almacenes de petróleo, distrito de Puente Piedra en el 2018. Universidad César Vallejo. Perú.

- Chumpitas, F.& Nava C. (2019). Procesos constructivos con de una losa industrial de concreto hidráulico con fibras de acero y sus beneficios obtenidos en su ejecución en un centro de distribución (tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Perú.
- C-TRES (8 de junio del 2020). Uso de la fibra de acero / metálica [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.ctres.mx/blog/usos-de-la-fibra-de-acero-slash-metalica/>
- Deacero (11 de diciembre del 2019). Lo básico de las fibras de acero [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://blog.deacero.com/los-basicos-de-fibras-de-acero>
- Díaz, J. (2018). Diseño de concreto  $f'c$  140, 175, 210  $\text{kg/cm}^2$ , adicionando fibra de acero, utilizando agregado de la cantera Naranjillo, distrito de Nueva Cajamarca, provincia de La Rioja, región de San Martín (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Perú.
- Figuroa, M. (2013). Comparativa de la tenacidad entre hormigón convencional, hormigón reforzado con fibras de hacer y hormigón reforzado con fibras de polipropileno (Fin de Master). Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Garnica, P., Gómez, J. y Sesma, J. (2002). Mecánica de materiales para pavimentos. Instituto Mexicano del Transporte. México.
- López, 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 adicionada (Tesis de grado). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Luna, W. (21 de abril del 2017). Pavimento rígido y tipos de pavimentos rígidos [ Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://es.slideshare.net/jesoslunallantirhuay/pavimento-rigido-y-tipos-de-pavimentos-rigidos>.
- MACCAFERRI. (06 de diciembre de 2011). Casos de Obras: Almacén Cormin, Lima, Perú. Obtenido de <http://www.saima.com.uy/casos-y-obras/78almac%C3%A9n-cormin-per%C3%BA,-lima.html>
- MACCAFERRI. (2015). PAVE 2008 rev. 1.3.0. Programa para la Verificación del Cálculo de Pisos y Pavimentos en Hormigón Fibroreforzado. Obtenido de

<https://docplayer.es/7653179-Programa-para-la-verificacion-del-calculo-depisos-y.html>

Mármol, P. (2010). Hormigones con fibras de acero características mecánicas. Universidad Politécnica de Madrid. España.

Master Builders (octubre del 2018). Propiedades mecánicas de las superficies de pisos [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://materialespegar.com/wp-content/uploads/2018/10/BASF-Folleto-Propiedades-Mecanicas-Pisos-Alto-Desempe%C3%B1o.pdf>.

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2009). Reglamento Nacional de Edificaciones – capítulo 3, Estructuras – E 0.60, Perú.

Montoya, K. (2016). Comparación de resistencia a la flexión, entre concreto fibroreforzado con polipropileno y concreto reforzado con fibras metálicas, para uso en carpetas de rodadura en parqueos (tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

Montalvo, M. (2015). Pavimentos rígidos reforzados con fibras acero versus pavimentos tradicionales (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

Mora, S. (2015). Pavimentos de concreto hidráulico. Recuperado de <https://www.slideshare.net/sunmyyhu/3-pavimento-concreto-ingmora-44034024>

Muñoz, N. (2017). Ensayo de flexión (guía de laboratorio). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.

Massicotte, B., Degrange, G., Dzeletovic, N. (2002). Mix Design for SFRC bridge deck construction. Rilem Proceedings 15, BEFIB.

Navas, A. & Rojas, J. (2010). Comportamiento de losas apoyadas en suelo utilizando concreto reforzado con fibras metálicas. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/280821753\\_comportamiento\\_de\\_losas\\_apoyadas\\_en\\_suelo\\_utilizando\\_concreto\\_reforzado\\_con\\_fibras\\_metalicas](https://www.researchgate.net/publication/280821753_comportamiento_de_losas_apoyadas_en_suelo_utilizando_concreto_reforzado_con_fibras_metalicas)

Orosco, J. (ed). (2004). Sistema de evaluación de pavimentos (Versión 2.0). Instituto Mexicano del Transporte. México.

- Peru Construye (2018) Pisos industriales [Mensaje de un blog]. Recuperado de <https://peruconstruye.net/wp-content/uploads/2018/11/PISOS-INDUSTRIALES.pdf>
- Rodriguez, F. (2013). Estudio del comportamiento a la fatiga de una mezcla de concreto para pavimentos reforzados con fibras metálicas. Pontificia Universidad Javeriana. Colombia.
- Salsilli, R. (2013). Manual de diseño de pisos industriales. Instituto del cemento y del hormigón de Chile. Chile.
- Sika (2018). Hoja técnica Sika fiber CHO 80/60 NB. Recuperado de <https://per.sika.com/dms/getdocument.get/f32c98b1-1005-3949-b484-aea00f917f11/Sika%20Fiber%20CHO%2080%2060%20NB.pdf>
- Tozzini, R (19 de agosto del 2020). Pisos industriales reforzados con fibras [Mensaje de blog]. Recuperado de [https://hormigonelaborado.com/wp-content/uploads/2020/06/Pisos-Industriales-POLICEMENTO\\_compressed.pdf](https://hormigonelaborado.com/wp-content/uploads/2020/06/Pisos-Industriales-POLICEMENTO_compressed.pdf).
- ZAditivos (2018). Ficha técnica fibra metálica Z. Recuperado de <https://www.zaditivos.com.pe/wp-content/uploads/2018/10/Fibra-Met%C3%A1lica-Z.pdf>

## ANEXOS

### Anexo 01: Matriz de Consistencia

<b>TITULO</b>				
<b>Incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico para la optimización de propiedades físicas del pavimento en fábricas industriales</b>				
PROBLEMA	OBJETIVOS		HIPÓTESIS	
PRBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL		HIPÓTESIS GENERAL	
¿Cómo la incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico optimizará las propiedades físicas del pavimento en fábricas industriales?	Incorporar las fibras de acero en el concreto hidráulico para la optimización de las propiedades físicas del pavimento en fábricas industriales		La incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico optimizará las propiedades físicas del pavimento en fábricas industriales	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS		HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	
1. ¿Cómo la incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico disminuye la fatiga del pavimento en fábricas industriales?	1. Incorporar las fibras de acero en el concreto hidráulico para disminuir la fatiga del pavimento en fábricas industriales.		1. La incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico disminuye la fatiga del pavimento en fábricas industriales	
2. ¿Cómo la incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico optimizará la resistencia a la flexión del pavimento en fábricas industriales?	2. Incorporar las fibras de acero en el concreto hidráulico para la mejoramiento de la resistencia a la flexión del pavimento en fábricas industriales.		2. La incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico optimizará la resistencia a la flexión del pavimento en fábricas industriales	
3. ¿Cómo la incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico optimizará la resistencia al impacto del pavimento en fábricas industriales?	3. Incorporar las fibras de acero en el concreto hidráulico para la optimización de la resistencia al impacto del pavimento en fábricas industriales.		3. La incorporación de fibras de acero en el concreto hidráulico optimizará la resistencia al impacto del pavimento en fábricas industriales	
VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍNDICE	INSTRUMENTO
VARIABLE INDEPENDIENTE		QUE MIDE	EN QUE SE MIDE	DE DONDE SE SACA LA INFORMACIÓN
Incorporación de fibras de acero	Añadir fibras de acero a un concreto hidráulico para sus propiedades mecánicas	Relación concreto - fibra de acero	kg/cm <sup>2</sup>	Información de ensayos de laboratorio, ASTM A820
			tn/m <sup>3</sup>	Manuales de losas industrial, ACI 544 -R
		Propiedades mecánicas	lb/plg psi	Tesis nacionales e internacionales Investigaciones experimentales
VARIABLE DEPENDIENTE				
Propiedades físicas del concreto hidráulico	Fatiga	Degeneración de algún material sometido a cargas cíclicas	unidad	Formatos de investigaciones, Manual de diseño de losas industriales
	Resistencia a la flexión	Resistencia a la falla por tracción o compresión de un concreto	Psi, lb/plg <sup>2</sup> , (Mpa)	Formatos de investigaciones y el ACI 318
	Resistencia al impacto	Fragilidad de un material cuando es sometido a un golpe intenso	lb.pie/plg o J/m	Formatos de investigaciones, Manual de diseño de losas industriales



## HOJA TÉCNICA

# Sika® Fiber CHO 80/60 NB

Fibra de acero para refuerzo del concreto en losas y concreto pre-fabricado

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® Fiber CHO 80/60 NB son fibras de acero trefilado de alta calidad para reforzamiento del concreto usado en losas de concreto tradicional e industriales y elementos de concreto pre-fabricado, especialmente encoladas (pegadas) para facilitar la homogenización en el concreto durante el mezclado, evitando la aglomeración de las fibras individuales. Sika® Fiber CHO 80/60 NB son fibras de acero de alta relación longitud / diámetro (l/d) lo que permite un alto rendimiento con menor cantidad de fibra.

### USOS

Sika Fiber CHO 80/60 NB, otorga una alta capacidad de soporte al concreto en un amplio rango de aplicaciones; dándole ductilidad y aumentando la tenacidad del concreto.

En elementos de concretos pre-fabricados reforzados; en losas de pisos industriales (trafico alto, medio y ligero) en losas y cimientos de concreto para reemplazar el refuerzo secundario (malla de temperatura), en puertos, aeropuertos, fundaciones para equipos con vibración, reservorios, tanques, etc.

### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Incrementa la resistencia del concreto al impacto, fatiga y a la fisuración.
- Incrementar la ductilidad y absorción de energía (resistencia a la tensión).
- Reducción de la fisuración por retracción.
- No afecta los tiempos de fraguado.
- Su condición de encolada (pegada) asegura una distribución uniforme en el concreto y shotcrete vía húmeda.
- Relación longitud / diámetro igual a 80 para un máximo rendimiento.
- Extremos conformados para obtener máximo anclaje mecánico en el concreto.

## Anexo 03: Ficha técnica Fibra metálica Z



El mejor amigo del concreto

Av. Los Faisanes N° 675 Urb. La Campiña, Chorrillos Lima - Perú  
(01) 2523058 | 950 093 271 / 994 268 534 / 998 128 514 / 996 330 130

Ficha técnica - Edición 19 - Versión 0718

Fibra para concreto

### Fibra Metálica Z

**Descripción:** Fibra de acero fabricada bajo carbonado al frío para el aumento de la tenacidad del concreto. ASTM A 820 Alta tensión. ASTM C 94 Concreto lanzado ASTM A 116. Tenacidad ASTM A 108. Viene en dos presentaciones: FIBRA METÁLICA Z 65/35 (shotcrete), FIBRA METÁLICA Z 80/60 (losas).

#### Ventajas

- Alta resistencia a la flexión.
- Alta resistencia a los impactos.
- Alta resistencia a la fatiga.
- Resistencia al corte.
- Resistencia a la torsión.
- Aumento de la resistencia a las 24 horas.
- Proyecta el hormigón de una forma rápida.
- Se asegura mejor a la roca.
- Reemplazo a la malla.
- Consume menos gunit, la fibra rellena los vacíos o desniveles.
- Reducción del ciclo de trabajo.
- Fibras adheridas con pigmentos que se diluyen con la humedad de los agregados.
- Resistente a la abrasión.

#### Usos

- Reparación de túneles.
- Muelles.
- Soporte de terreno.
- Paredes de retención.
- Estabilización de taludes.
- Pisos industriales tráfico pesado.
- Túneles convirtiéndose en tuberías reforzadas con fibra.
- Túneles seco o húmeda.
- Cimentación de equipos.
- Prefabricados.

#### Cuidados

Consultar con nuestras oficinas para recomendar el tipo de FIBRA METÁLICA Z de acuerdo al tipo de trabajo. Se recomienda el uso de guantes, lentes y mascarilla. Para mayor detalle remitase a la hoja de seguridad del producto.

E-mail: [ventas@zaditivos.com.pe](mailto:ventas@zaditivos.com.pe) | [cotizacion@zaditivos.com.pe](mailto:cotizacion@zaditivos.com.pe) | web site: [www.zaditivos.com.pe](http://www.zaditivos.com.pe)

San Borja: Av. San Luis 3051. Telf: (01) 715 5744 / 981 288 456 | Callao: Av. Elmer Faucett 1631. Telf: (01) 715 -5770 / 998 128 493  
Chiclayo: Calle Los Tumbos 505. Urb. San Eduardo. Telf: (074) 223 718 / 994 278 778 | Pucallpa: Jr. Coronel Portillo 744. Telf: (061) 573 591 / 998 128 495  
Piura: Av. Bolognesi 311. Int. 3. Telf: (073) 321 480 / 972 001 351 | Sullana: Av. José de Lama 344. Telf: (073) 509 408 / 923 055 398