



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONCRETO CON REFUERZO  
DE ACERO TRADICIONAL Y FIBRAS DE ACERO FF1 PARA  
LOSAS INDUSTRIALES DEL DEPÓSITO DE CONCENTRADOS  
CALLAO, 2020**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. MARELIN YENI HUMPIRI CHATA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



## DEDICATORIA

A Dios,

A mis padres Bernardino y Leonarda, porque han ido depositando en mí, anhelos de superación y valores.

A mi hermana Noemi por su apoyo constante.

A mis amigos que compartieron su conocimiento conmigo y alentaron mi avance profesional.

Marelin Yeni Humpiri Chata



## AGRADECIMIENTOS

Gracias en especial a mis jurados y asesor por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias, alentándome cada día a cerrar la presente investigación, contribuyendo con profesionalismo, ingenio y valores a la profesión de Ingeniería Civil.

Mi más sincera gratitud a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que me acompañaron durante los años de estudio en la formación universitaria.

Gracias a mis padres por la enseñanza de lucha, con valores bien forjados.



# ÍNDICE GENERAL

Pág.

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 17**

**ABSTRACT..... 18**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 PROBLEMÁTICA..... 21**

1.1.1 Problema general ..... 23

1.1.2 Problemas específicos ..... 23

**1.2 JUSTIFICACIÓN ..... 23**

**1.3 OBJETIVOS..... 24**

1.3.1 Objetivo general..... 24

1.3.2 Objetivos específicos ..... 24

**1.4 HIPÓTESIS ..... 25**

1.4.1 Hipótesis general..... 25

1.4.2 Hipótesis específicas ..... 25

**1.5 MATRIZ DE CONSISTENCIA ..... 26**

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 ANTECEDENTES ..... 28**



2.1.1	Antecedentes internacionales.....	28
2.1.2	Antecedentes nacionales .....	30
2.1.3	Antecedentes regionales .....	32
<b>2.2</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>32</b>
2.2.1	Losas sobre suelo .....	32
2.2.2	Cargas .....	33
2.2.3	Juntas .....	34
2.2.4	Concreto con fibras .....	35
2.2.4.1	Fibras de acero.....	35
2.2.4.2	Aplicaciones de las fibras de acero .....	36
2.2.5	Propiedades mecánicas del concreto con fibras de acero .....	36
2.2.6	Fibras wirand FF1 de Maccaferri.....	40
2.2.7	Métodos de diseño para losa industrial.....	40
2.2.7.1	Métodos incorporados en la norma americana ACI360R-10....	40
2.2.7.2	Método con el reporte técnico británico TR-34. ....	50
<b>2.3</b>	<b>MARCO NORMATIVO .....</b>	<b>57</b>
2.3.1	Normativa internacional .....	57
2.3.2	Normativa nacional.....	58

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1</b>	<b>UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.....</b>	<b>60</b>
<b>3.2</b>	<b>PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO .....</b>	<b>62</b>
<b>3.3</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>62</b>
3.3.1	Nivel de investigación .....	62
3.3.2	Tipo de investigación.....	63



3.3.3	Diseño de la investigación .....	63
3.3.4	Población y muestra de estudio .....	63
3.3.5	Análisis estadístico y prueba de hipótesis.....	66
3.3.5.1	Análisis estadístico .....	66
3.3.5.2	Prueba de hipótesis .....	67
3.3.5.3	Distribución t de Student.....	68
3.3.6	Variables .....	69
3.3.7	Operacionalización de variables .....	70
3.3.8	Técnicas de recolección de datos.....	71
3.3.9	Instrumentos de recolección de datos .....	71
<b>3.4</b>	<b>DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA .....</b>	<b>71</b>
<b>3.5</b>	<b>DISEÑO DE LOSAS INDUSTRIALES.....</b>	<b>73</b>
3.5.1	Memoria descriptiva .....	73
3.5.2	Solicitaciones .....	78
3.5.2.1	De la estructura que soporta la losa industrial.....	78
3.5.2.2	Del concreto de la losa industrial .....	80
3.5.2.3	De las cargas que soportaron la losa industrial .....	80
3.5.3	Diseño de losa de concreto con acero tradicional.....	82
3.5.3.1	Métodos que contiene la norma americana ACI360R-10 .....	82
3.5.3.2	Determinación de acero.....	86
3.5.4	Diseño de losa de concreto con fibras de acero FF1.....	87
3.5.4.1	Método con el reporte técnico británico TR-34. ....	87
3.5.5	Aplicación del software EverFE 2.26, para la verificación del diseño de la losa de concreto sin fibra .....	92



3.5.6	Aplicación del software Pave 2008, para la verificación del diseño del concreto con fibras de acero FF1.....	98
-------	--	----

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1</b>	<b>NORMA AMERICANA ACI360R-10 .....</b>	<b>102</b>
<b>4.2</b>	<b>REPORTE TÉCNICO BRITÁNICO TR-34.....</b>	<b>103</b>
<b>4.3</b>	<b>COMPARATIVO DE PROPIEDADES MECÁNICAS.....</b>	<b>104</b>
4.3.1	Evaluación comparativa de propiedades mecánicas .....	104
4.3.2	Prueba de hipótesis .....	112
<b>4.4</b>	<b>COMPARATIVO DE COSTOS.....</b>	<b>118</b>
4.4.1	Evaluación comparativa de costos .....	118
4.4.2	Análisis estadístico .....	127
4.4.3	Prueba de hipótesis .....	128
<b>4.5</b>	<b>COMPARATIVO DE TIEMPOS.....</b>	<b>129</b>
4.5.1	Análisis comparativo de tiempos de ejecución.....	129
4.5.2	Análisis estadístico .....	133
4.5.3	Prueba de hipótesis .....	134
<b>4.6</b>	<b>CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS .....</b>	<b>135</b>
4.6.1	Cumplimiento correspondiente al primer objetivo específico .....	136
4.6.2	Cumplimiento correspondiente al segundo objetivo específico .....	137
4.6.3	Cumplimiento correspondiente al tercer objetivo específico .....	139
4.6.4	Cumplimiento correspondiente al objetivo general .....	140
<b>4.7</b>	<b>VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL .....</b>	<b>140</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>144</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>146</b>



<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>147</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>153</b>

**TEMA:** Losas industriales

**ÁREA :** Estructuras

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Diseño y análisis estructural

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 10 de enero de 2023





## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1:</b> Condición de losas industriales para reparación en Impala Terminals .....	22
<b>Figura 2:</b> Curva a flexo tracción para un SRFC, carga - flecha. ....	37
<b>Figura 3:</b> Curva alargamiento de morteros- tensión de tracción. ....	38
<b>Figura 4:</b> Tenacidad del concreto con y sin fibras.....	39
<b>Figura 5:</b> Diseño gráfico de la PCA para fuerzas en ejes con rueda simple.....	42
<b>Figura 6:</b> Diseño gráfico de la PCA para fuerzas en eje con rueda dual. ....	43
<b>Figura 7:</b> Diseño gráfico de la PCA para carga en rack cuando $k=50$ pci.....	44
<b>Figura 8:</b> Diseño gráfico de la PCA para carga en rack cuando $k=100$ pci.....	44
<b>Figura 9:</b> Diseño gráfico de la PCA para carga en rack cuando $k=200$ pci.....	45
<b>Figura 10:</b> Monograma de cálculo para determinar el ancho de la losa, COE.....	46
<b>Figura 11:</b> Relación entre la subrasante y la rigidez de la losa, método WRI.....	47
<b>Figura 12:</b> Monograma de cálculo para fuerza de neumático, método WRI.....	48
<b>Figura 13:</b> Monograma para la tensión de tracción en la losa, método WRI. ....	49
<b>Figura 14:</b> Carga vs CMOD derivado de ensayo de viga con la normativa EN-14651. 52	
<b>Figura 15:</b> Desarrollo de fisuras radiales y circunferenciales en una losa de concreto. 54	
<b>Figura 16:</b> Definiciones de ubicaciones de carga. ....	55
<b>Figura 17:</b> Depósito de concentrados de minerales, Impala Terminals S.A.C.....	61
<b>Figura 18:</b> Ubicación en google maps del depósito de concentrados de minerales. ....	61
<b>Figura 19:</b> Ensayo a flexión de viga de concreto sin fibra, NTP 339.079.....	65
<b>Figura 20:</b> Ensayo a la tracción por flexión de viga de concreto con fibra, EN-14651. 66	
<b>Figura 21:</b> Especificaciones técnicas de geocelda.....	77
<b>Figura 22:</b> Fórmula del coeficiente de reacción combinado. ....	79
<b>Figura 23:</b> Espesores de la estructura de la losa industrial.....	79



<b>Figura 24:</b> Dimensiones del Stacker RS46-41S CH. ....	80
<b>Figura 25:</b> Datos de entrada a EverFE 2.26 – geometría de la losa.....	92
<b>Figura 26:</b> Datos de entrada a EverFE 2.26 – condiciones del material.....	93
<b>Figura 27:</b> Datos de entrada a EverFE 2.26 – solicitaciones de cargas. ....	93
<b>Figura 28:</b> Datos de entrada a EverFE 2.26 – dowels en juntas. ....	94
<b>Figura 29:</b> Datos de entrada a EverFE 2.26 – datos de la malla de interpolación.....	94
<b>Figura 30:</b> Resultado del diseño en EverFE 2.26 – tensiones en la superficie.....	95
<b>Figura 31:</b> Resultado del diseño en EverFE 2.26 – tensiones en la cara inferior. ....	95
<b>Figura 32:</b> Resultado del diseño en EverFE 2.26 – desplazamientos.....	96
<b>Figura 33:</b> Resultado del diseño en EverFE 2.26 - valores máx. y mín. de tensión.....	96
<b>Figura 34:</b> Datos de entrada a Pave 2008, información del sistema.....	98
<b>Figura 35:</b> Datos de entrada al Pave 2008, condiciones de la subrasante. ....	99
<b>Figura 36:</b> Datos de entrada al Pave 2008, cargas en el sistema de stacker RS46-41...	99
<b>Figura 37:</b> Verificación por ELU, capacidad a flexión con la carga en la esquina. ....	100
<b>Figura 38:</b> Verificación por ELU, capacidad al punzonado con carga en la esquina..	100
<b>Figura 39:</b> Distribución de acero tradicional en losa de concreto, $e=0.25m$ . ....	102
<b>Figura 40:</b> Gráfico del promedio del ensayo de revenimiento al concreto.....	106
<b>Figura 41:</b> Promedio de la resistencia a compresión del concreto sin fibra. ....	107
<b>Figura 42:</b> Promedio porcentual del ensayo a compresión del concreto con fibras. ...	108
<b>Figura 43:</b> Ensayo de resistencia a la compresión simple del concreto. ....	108
<b>Figura 44:</b> Impacto porcentual en la resistencia a la flexión del concreto. ....	109
<b>Figura 45:</b> Gráfico de resistencia a la flexión del concreto con fibras de acero.....	110
<b>Figura 46:</b> Elaboración y rotura del ensayo a flexión.....	111
<b>Figura 47:</b> Diagrama de dispersión - ensayo de compresión del concreto $kg/cm^2$ .....	114
<b>Figura 48:</b> Diagrama de dispersión – ensayo por flexión.....	117



<b>Figura 49:</b> Cronograma de ejecución, losa de concreto con fibras FF1 de acero.....	130
<b>Figura 50:</b> Cronograma de ejecución, losa de concreto con acero tradicional.....	130
<b>Figura 51:</b> Colocación de fibra wirand FF1 en la planta de Unicon. ....	133
<b>Figura 52:</b> Gráfico resultado del comparativo de revenimiento del concreto. ....	141
<b>Figura 53:</b> Gráfico resultado del comparativo de resistencia a compresión.....	142
<b>Figura 54:</b> Gráfico resultados del comparativo de la resistencia a flexión.....	142
<b>Figura 55:</b> Gráfico de ahorro en costo de una losa de concreto con fibras. ....	142
<b>Figura 56:</b> Gráfico de ahorro en tiempo de una losa de concreto con fibras. ....	143



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1:</b> Tipos de carga en losas.....	34
<b>Tabla 2:</b> Especificaciones técnicas de la fibra wirand FF1.....	40
<b>Tabla 3:</b> Escala de clasificación de indicador de diseño, COE.....	46
<b>Tabla 4:</b> Factores parciales de seguridad de materiales.....	50
<b>Tabla 5:</b> Factores parciales de seguridad de cargas.....	50
<b>Tabla 6:</b> Propiedades del concreto y resistencias relacionadas.....	51
<b>Tabla 7:</b> Valores de la capacidad de absorber energía de las fibras FF1 de acero.....	53
<b>Tabla 8:</b> Resistencia al corte por punzonamiento máximo $v_{m\acute{a}x}$ .....	57
<b>Tabla 9:</b> Resistencia mínima de corte por punzonamiento del concreto no reforzado..	57
<b>Tabla 10:</b> Cantidad de muestras para el ensayo de revenimiento del concreto fresco. .	64
<b>Tabla 11:</b> Cantidad de especímenes de concreto para la prueba a compresión simple.	65
<b>Tabla 12:</b> Cantidad de especímenes prismáticas de concreto para el ensayo a flexión.	65
<b>Tabla 13:</b> Requerimiento granulométrico - subbase granular.....	76
<b>Tabla 14:</b> Requerimiento de ensayos especiales - subbase granular.....	76
<b>Tabla 15:</b> Tabla de dosificación de fibra wirand FF1 según su resistencia eq.....	87
<b>Tabla 16:</b> Esfuerzos y desplazamientos en posición de esquina y borde de carga.....	97
<b>Tabla 17:</b> Resultados de la capacidad a flexión, Pave 2008.....	101
<b>Tabla 18:</b> Resultados de la capacidad cortante al punzonamiento, Pave 2008.....	101
<b>Tabla 19:</b> Resumen de diseño con los métodos de la norma americana ACI360R-10.	102
<b>Tabla 20:</b> Verificación de la capacidad a la flexión.....	103
<b>Tabla 21:</b> Verificación de la capacidad cortante al punzonamiento.....	104
<b>Tabla 22:</b> Ensayo de revenimiento al concreto fresco.....	105
<b>Tabla 23:</b> Resultados de la resistencia a compresión del concreto sin fibra.....	106



<b>Tabla 24:</b> Resultados de la resistencia a compresión del concreto con fibras FF1.....	107
<b>Tabla 25:</b> Resultados de ensayos a flexión del concreto sin fibra. ....	109
<b>Tabla 26:</b> Resultados de ensayos a flexión del concreto con fibras FF1. ....	109
<b>Tabla 27:</b> Descriptivos - ensayo a la compresión del concreto. ....	112
<b>Tabla 28:</b> Prueba de normalidad - ensayo a la compresión del concreto.....	113
<b>Tabla 29:</b> Descriptivos - ensayo a flexión del concreto sin fibra de acero. ....	115
<b>Tabla 30:</b> Descriptivos - ensayo a flexión del concreto con fibra. ....	116
<b>Tabla 31:</b> Prueba de normalidad - ensayo a la flexión del concreto. ....	116
<b>Tabla 32:</b> Partidas de un presupuesto de losa de concreto con acero tradicional. ....	119
<b>Tabla 33:</b> Partidas de un presupuesto de losa de concreto con fibras de acero FF1....	119
<b>Tabla 34:</b> Análisis de costo unitario de suministro y habilitación de acero. ....	120
<b>Tabla 35:</b> Análisis del costo unitario de concreto premezclado, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ .....	120
<b>Tabla 36:</b> Análisis de costo unitario de concreto premezclado para losa con acero....	121
<b>Tabla 37:</b> Análisis de costo unitario de suministro y colocación de fibra FF1.....	121
<b>Tabla 38:</b> Presupuesto de losa de concreto con acero tradicional, tramo 13 y 15. ....	122
<b>Tabla 39:</b> Presupuesto de losa de concreto con acero tradicional, tramo 16 y 18. ....	123
<b>Tabla 40:</b> Presupuesto de losa de concreto con fibras de acero FF1, tramo 13 y 15...	124
<b>Tabla 41:</b> Presupuesto de losa de concreto con fibras de acero FF1, tramo 16 y 18...	125
<b>Tabla 42:</b> Resumen comparativo de presupuestos de los tramos 13,15,16 y 18. ....	126
<b>Tabla 43:</b> Costo por $1 \text{ m}^2$ de losa de concreto con acero tradicional y con fibra. ....	127
<b>Tabla 44:</b> Análisis estadístico: costo por $\text{m}^2$ de losa con acero tradicional. ....	127
<b>Tabla 45:</b> Análisis estadístico: costo por $\text{m}^2$ de losa de concreto con fibras FF1.....	128
<b>Tabla 46:</b> Parámetros de interés para la prueba de hipótesis de costos. ....	128
<b>Tabla 47:</b> Comparativo de tiempos de ejecución de losas de concreto. ....	131
<b>Tabla 48:</b> Rendimiento de partidas influyentes en la losa industrial de concreto. ....	132



<b>Tabla 49:</b> Metrado de acero tradicional y fibra de acero FF1 para losas industriales.	132
<b>Tabla 50:</b> Análisis estadístico: tiempo de ejecución de losa con acero tradicional. ....	133
<b>Tabla 51:</b> Análisis estadístico: tiempo de ejecución de losa con fibras FF1 de acero.	134
<b>Tabla 52:</b> Parámetros de interés para la prueba de hipótesis de tiempos.....	134



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

a	mm <sup>2</sup> /m	: Radio equivalente de la superficie de contacto de la fuerza
A <sub>s</sub>	mm <sup>2</sup> /m	: Área de acero distribuido por unidad de ancho de losa
A <sub>S</sub> mín	cm <sup>2</sup> /m	: Área de acero mínimo distribuido por unidad de ancho de losa
COE	--	: Cuerpo de ingenieros
CMOD	mm	: Desplazamiento de la apertura de la boca de la grieta
d	--	: Profundidad efectiva de la losa
E <sub>cm</sub>	kN/mm <sup>2</sup>	: Módulo de elasticidad
ELU	--	: Estado límite último
ELS	--	: Estado límite de servicio
f <sup>°</sup> c	N/mm <sup>2</sup>	: Resistencia a la compresión
f <sub>cu</sub>	N/mm <sup>2</sup>	: Resistencia a la compresión en molde (cubo)
f <sub>cm</sub>	N/mm <sup>2</sup>	: Resistencia a compresión media en molde cilíndrico
f <sub>ctm</sub>	N/mm <sup>2</sup>	: Resistencia a tracción axial media
f <sub>ctd,fl</sub>	N/mm <sup>2</sup>	: Resistencia a la tracción a flexión del concreto
f <sub>ctk(0.05)</sub>	N/mm <sup>2</sup>	: Resistencia a la tracción axial
f <sub>s</sub>	kg/cm <sup>2</sup>	: Esfuerzo de tensión permisible del acero
f <sub>r1</sub>	--	: Tensión residual a la flexotracción, CMOD=0.5mm
f <sub>r4</sub>	--	: Tensión residual a la flexotracción, CMOD=3.5mm
f <sub>y</sub>	kg/cm <sup>2</sup>	: Límite de fluencia del acero
F	--	: Coeficiente de fricción de la subrasante
h	mm	: Espesor de la losa
h <sub>asum</sub>	mm	: Espesor de la losa asumida
k	N/mm <sup>3</sup>	: Módulo de reacción de la subrasante



$K_0$	$\text{kg/cm}^3$	: Coeficiente de reacción de la subrasante
$K_1$	$\text{kg/cm}^3$	: Coeficiente de reacción de la subbase granular
$K_c$	$\text{kg/cm}^3$	: Coeficiente de reacción combinado
$l$	mm	: Radio de rigidez relativa
$L$	m	: Distancia entre junta
PCA	--	: Asociación del cemento portland
$R_{e,3}$	%	: Resistencia equivalente a la flexión de la fibra FF1
$R^2$	--	: Coeficiente de determinación
$S$	--	: Desviación estándar
$S_p$	--	: Varianza común
SRFC	--	: Concreto con reforzamiento de fibras de acero
$t_p$	--	: Estadístico de prueba
$\nu$	--	: Módulo de poisson
$V_{m\acute{a}x}$	Mpa	: Resistencia máxima al corte
$V_{Rd,c,min}$		: Resistencia mínima al corte por punzonamiento del concreto no reforzado
$w$	$\text{kg/m}^3$	: Densidad del concreto
WRI	--	: Instituto de refuerzo con cable
$\bar{X}$	--	: Media aritmética
$\gamma$	--	: Factor parcial de seguridad de carga
$\gamma_m$	--	: Factor parcial de seguridad de material





## RESUMEN

En el país cada vez hay más industrias mineras y logísticas que por ser de tipo industrial requieren diseños de losas eficientes. El problema de los propietarios es que no identifican la mejor alternativa en cuanto a la construcción de la losa. Ante esta problemática, la presente investigación tuvo como objetivo principal determinar la mejor alternativa al comparar las propiedades mecánicas, costos y tiempos del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibras de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados Callao. Esta investigación planteó diseñar la losa a través de dos normas: norma americana ACI360R-10 y reporte técnico británico TR-34. Asimismo, la muestra de este estudio se conformó por cuatro tramos de losas del proyecto en Impala Terminals S.A.C. Para comparar las propiedades mecánicas del concreto se realizaron ensayos de revenimiento in situ, ensayos a la compresión y flexión en laboratorio. Para comparar los costos y tiempos se evaluaron: costos unitarios, presupuestos, rendimientos y cronogramas de ejecución. Las herramientas que se utilizaron fueron los certificados, protocolos y planos. Finalmente, se concluyó que una losa de concreto con fibras de acero FF1 es una mejor alternativa a comparación de una losa de concreto con acero tradicional, debido a que el concreto con fibras de acero FF1 pudo incrementar un 5 % la resistencia a la compresión y un 12 % la resistencia a la flexión. En cuanto a los costos, se pudo generar ahorro de un 10 % y en tiempos un 9 %, en comparación de un concreto con acero tradicional.

**Palabras clave:** Acero, costos, diseño de losas, fibras de acero, tiempos.



## ABSTRACT

In the country there are more and more mining and logistics industries that require efficient slab designs. The problem for owners is that they do not identify the best alternative in terms of slab construction. In view of this problem, the main objective of this research was to determine the best alternative by comparing the mechanical properties, costs and times of concrete with traditional steel reinforcement and concrete with FF1 steel fibers for the industrial slabs of the Callao concentrates deposit. This research proposed to design the slab using two standards: American standard ACI360R-10 and British technical report TR-34. Likewise, the sample of this study consisted of four sections of slabs from the Impala Terminals S.A.C. project. To compare the mechanical properties of the concrete, in situ slump, compression and flexural tests were performed in the laboratory. In order to compare costs and times, the following were evaluated: unit costs, budgets, performance and execution schedules. The instruments used were certificates, protocols, and drawings. Finally, it was concluded that a concrete slab with FF1 steel fibers is a better alternative compared to a concrete slab with traditional steel, because the concrete with FF1 steel fibers was able to increase by 5% the compressive strength and 12 % the flexural strength. In terms of costs, it was possible to generate savings of 10 % and 9% in time, compared to concrete with traditional steel.

**Keywords:** Steel bar, costs, slab design, steel fibers, schedules.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La tecnología y los conocimientos sobre el refuerzo con fibras ha avanzado significativamente en los últimos años y como resultado se han expandido más allá de las aplicaciones tradicionales, como son en las losas industriales y elementos prefabricados (Salsilli, 2013). Las ventajas técnicas del uso de SFRC han sido ampliamente estudiadas, entre sus ventajas se destacan: la mejora de la tenacidad y la ductilidad, el control de fisuras, además del rendimiento dado que las fibras se añaden en la planta del concreto cuando se fabrica la mezcla; también, el uso del SFRC hace menos necesaria la vibración del concreto y esto mejora la seguridad laboral (Maccaferri, 2016).

En la presente investigación que como fin tuvo: encontrar la mejor alternativa para la construcción de losas industriales, comparando pisos industriales de concreto con acero tradicional con las de concreto con fibras FF1, se propuso comparar las dos soluciones de refuerzo, esto para que el propietario de una planta industrial pueda tener una mejor elección al optar por el diseño que usará para la construcción de su nueva losa o reparación de esta. También, se obtuvieron datos comparativos de propiedades mecánicas, costos y tiempos de ejecución en ambos escenarios.

En este estudio se examinó la forma de proceder de las losas industriales de concreto con acero tradicional y con fibras de acero FF1. Se examinaron las características mecánicas del concreto. Para la evaluación de los costos por metro cuadrado de losa se analizaron los costos unitarios de las partidas más incidentes en el presupuesto de cada tipo de losa, y así también se evaluó el impacto en el tiempo de ejecución.

Para las validaciones de los diseños manuales con las normas ACI360R-10 y con el reporte técnico británico TR-34 se utilizó el software Pave 2008.



El presente trabajo de investigación está dividido en siete capítulos:

Capítulo I: Introducción

Capítulo II: Revisión de literatura

Capítulo III: Materiales y métodos

Capítulo IV: Resultados y discusión

Capítulo V: Conclusiones

Capítulo VI: Recomendaciones

Capítulo VII: Bibliografía

El capítulo I incluye la formulación del problema y los alcances de la investigación.

El capítulo II contiene el desarrollo de los precedentes históricos, los fundamentos teóricos y el marco conceptual donde se describe de manera abstracta los alcances de la investigación. Se conceptualiza las losas sobre suelo y sus consideraciones de cargas. Se conceptualiza también los métodos de diseño para las losas industriales con la norma americana ACI360R-10 y con el reporte técnico británico TR-34 el cual será enmarcado en la presente tesis.

El capítulo III contiene la metodología y diseño de la investigación, donde se describe la progresión del desarrollo del tema de la presente tesis, a la vez puntualiza las fuentes y herramientas empleadas. Junto a ello, en este capítulo se muestra el proyecto de aplicación y el diseño con los dos métodos para las losas industriales, sumando la verificación del diseño con el software Pave 2008.

El capítulo IV contiene los fines que se alcanzaron a partir de las hipótesis planteadas, realizándose los comparativos de las propiedades mecánicas, costos y tiempos de ejecución de cada tipo de losa concretada, tomando en cuenta los diseños resultados del capítulo III.



El capítulo V y VI muestra las conclusiones, resultado de la investigación y las correspondientes recomendaciones.

## **1.1 PROBLEMÁTICA**

Un problema importante al que se enfrenta un propietario o inversor de un patio industrial es al conocimiento sobre el tipo de pavimento que debe usar en su construcción. Según Salsilli (2013) quien lo describió en su Manual de Diseño de Pisos Industriales publicado por el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. Es posible que los expertos y/o diseñadores de esta clase de losas industriales desconozcan de manera exacta las distintas tecnologías disponibles que pueden proporcionar soluciones efectivas para pisos industriales (p. 11).

Entre los distintos tipos de pisos industriales, se pueden mencionar los siguientes:

- Pisos industriales de concreto con dovelas con o sin dispositivos de transmisión de carga.
- Pisos industriales de concreto con refuerzo para controlar las grietas.
- Pisos industriales de concreto con fibras.
- Pisos industriales de concreto postensados.

Córdova et al. (2019) en su trabajo de investigación menciona que los filamentos de acero se utilizan como elemento primordial de refuerzo para las losas de industrias, de túneles y de dovelas y con el tiempo es que fue considerado el mejor producto para el servicio de carreteras de alto tráfico. Esta consideración se basa en estudios e investigaciones realizados por universidades, institutos técnicos y comités especiales destinados a mejorar la calidad y aplicación del concreto (p. 2).

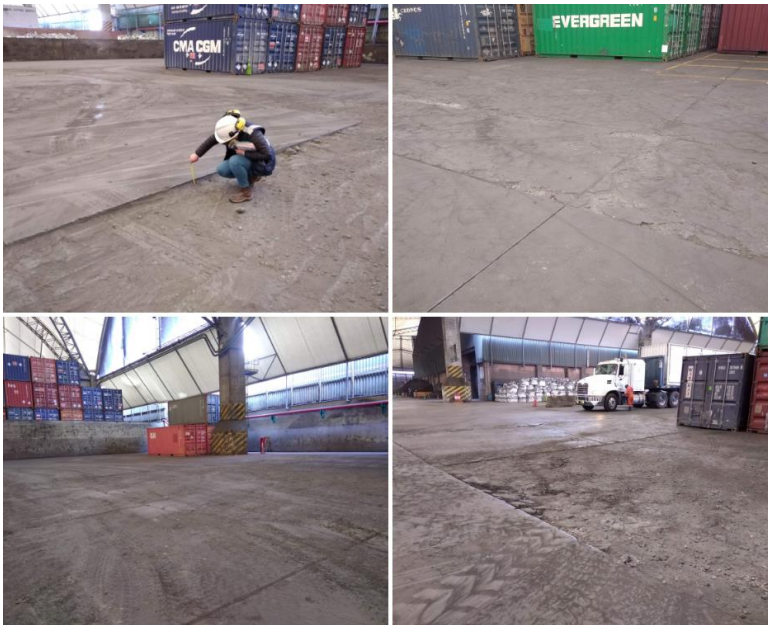
Ahora bien, en el depósito de concentrados de minerales del Callao, dentro de la línea de negocios de la empresa Impala Terminals S.A.C., las losas han venido teniendo deficiencias desde el año 2017 hasta el año 2020. Estas losas sufren fracturas,

asentamientos y desgaste de la capa superficial como se puede observar en la figura 1.

Las losas existentes en el depósito de concentrados antes de la ejecución de la reparación fueron de concreto con acero tradicional con un espesor de 25 cm.

**Figura 1:**

*Condición de losas industriales para reparación en Impala Terminals S.A.C.*



*Nota:* Condición de losas industriales para los cuales Impala solicitó la reparación.

Las pérdidas económicas que generan las fallas en la losa industrial se originan por encontrarse las áreas o sectores en malas condiciones sin poder almacenar ningún tipo de concentrados de mineral. Esta situación genera que el cliente reduzca su flujo de almacenamiento y distribución tanto local como internacional.

Por lo cual, que para mitigar las pérdidas económicas del depósito de concentrados de minerales del Callao se planteó buscar la mejor alternativa de diseño de losa industrial, mejorando las propiedades mecánicas, costos y tiempos de ejecución respecto a la losa existente (losa de concreto con acero tradicional).

Para lo que definimos el siguiente problema general y sus respectivos problemas específicos:



### **1.1.1 Problema general**

¿Cuál será la mejor alternativa al comparar las propiedades del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao?

### **1.1.2 Problemas específicos**

- ¿Cuál será la mejor alternativa al comparar las propiedades mecánicas del concreto sin fibra de acero y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao?
- ¿Cuál será la mejor alternativa al comparar los costos del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao?
- ¿Cuál será la mejor alternativa al comparar los tiempos de ejecución del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao?

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Los pisos industriales de concreto generalmente presentan fisuras debido a la retracción plástica en las primeras etapas de su vida útil o por la temperatura, también se origina por la retracción por secado o asentamiento. Todo esto puede reducir significativamente la duración de vida útil de las losas de concreto. Además, otro gran problema que enfrenta un dueño o propietario de industria está relacionado con el tipo de concreto que deberá de utilizar en la ejecución de su losa (Toirac, 2004). La situación descrita viene ocurriendo en el depósito de concentrados Callao.

Según De la Cruz & Quispe (2014), la fibra se ha añadido al concreto desde la antigüedad para disminuir el agrietamiento, mejorar la durabilidad y la solidez de aguante



de los distintos materiales de construcción. Algunos ejemplos son la paja en ladrillos de arcilla y cabello en la argamasa.

Por todo lo mencionado, es necesario estudiar las losas industriales de concreto con refuerzo de acero tradicional y con fibras FF1, con el propósito de comparar las características mecánicas, costos y tiempos de ejecución de cada una de ellas. Es un hecho reconocido que el uso del concreto con reforzamiento de fibras FF1 de acero como componente estructural en la construcción va en aumento (Salsilli, 2013).

La investigación pretende aportar información que resulte útil para el depósito de concentrados Callao y otras plantas industriales de infraestructura, minería o logístico. Brindar un mayor conocimiento y una mejor opción del refuerzo a colocar al concreto en las losas industriales. Como señala Maccaferri (2007) en su artículo, es importante para mejorar las estructuras industriales usar las fibras de acero, así también promover el uso de nuevas tecnologías y materiales en los países.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar la mejor alternativa al comparar las propiedades del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Comparar las propiedades mecánicas (revenimiento, resistencia a la compresión y a la flexión) del concreto sin fibra y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.
- Comparar los costos del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.





- Comparar los tiempos de ejecución del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

## **1.4 HIPÓTESIS**

### **1.4.1 Hipótesis general**

El concreto con fibras de acero FF1 tiene propiedades significativamente mejores en comparación con el del concreto con refuerzo de acero tradicional para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

### **1.4.2 Hipótesis específicas**

- El concreto sin fibras tiene un revenimiento significativamente mayor y una resistencia a la compresión y flexión significativamente menor en comparación con el concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.
- El concreto con refuerzo de acero tradicional tiene costos significativamente mayores en comparación con el concreto con fibras de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.
- El concreto con refuerzo de acero tradicional tiene tiempos de ejecución significativamente mayores en comparación con el concreto con fibras de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

### 1.5 MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Método
<p>Problema general</p> <p>¿Cuál será la mejor alternativa al comparar las propiedades del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar la mejor alternativa al comparar las propiedades del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>El concreto con fibras de acero FF1 tiene propiedades significativamente mejores en comparación con el concreto con refuerzo de acero tradicional para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>Calificación de las propiedades del concreto con fibras de acero FF1</p>	<p>Tipo de Investigación: Observacional, Según Hernández et al., (2010) lo define como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente.</p>
<p>Problemas específicos</p> <p>¿Cuál será la mejor alternativa al comparar las propiedades mecánicas del concreto sin fibra y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Comparar las propiedades mecánicas del concreto sin fibra y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>El concreto sin fibras tiene un revenimiento significativamente mayor y una resistencia a la compresión y flexión significativamente menor en comparación con el concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.</p>	<p>Variables independientes</p> <p>Revenimiento del concreto Resistencia a la compresión Resistencia a la flexión</p>	<p>Retrospectivo, los datos se recogen de registros donde el investigador no tuvo participación (secundarios). Cuantitativo, ya que usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.</p>

<p>¿Cuál será la mejor alternativa al comparar los costos del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao?</p>	<p>Comparar los costos del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.</p>	<p>El concreto con refuerzo de acero tradicional tiene costos significativamente mayores en comparación con el concreto con fibras de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.</p>	<p>Costos de losas</p>	<p>Nivel de Investigación Para Hernández et al., (2010) el estudio correlacional asocia variables por un medio de patrón predecible para un grupo o población. Su finalidad es conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, categorías o adicionales en una muestra.</p>
<p>¿Cuál será la mejor alternativa al comparar los tiempos de ejecución del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao?</p>	<p>Comparar los tiempos de ejecución del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.</p>	<p>El concreto con refuerzo de acero tradicional tiene tiempos de ejecución significativamente mayores en comparación con el concreto con fibras de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.</p>	<p>Tiempos de ejecución de losas</p>	<p>Población La población de esta investigación es el Depósito de Concentrados Callao, ubicado en la provincia constitucional del Callao.</p>



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

Para el desarrollo de esta investigación, se realizó la revisión de numerosas tesis, artículos y publicaciones de los últimos años, teniendo en cuenta dos aspectos importantes: a) investigaciones relacionadas con losas industriales de concreto con acero tradicional y b) aquellas relacionadas con pisos industriales de concreto con reforzamiento de fibras de acero.

#### 2.1 ANTECEDENTES

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Novas & Rojas (2010), en su artículo de investigación “*Comportamiento de losas apoyadas en suelo utilizando concreto reforzado con fibras metálicas*”, donde tuvo como propósito investigar el proceder del concreto con reforzamiento de fibras metálicas (SFRC) y donde describió los logros de las varias metodologías de cálculo para losas apoyadas en terreno. De manera específica estudió las metodologías de los códigos de diseño ACI360R-06 y TR34, con el objetivo de admitir el provecho que acarrea el uso del SFRC y poder conseguir una más grande efectividad en su uso. En la exploración constató que el concreto con reforzamiento de fibras metálicas muestra una elevada capacidad de tenacidad, demostrando el reparto interno del trabajo presente en la sección (matriz-fibra), también identificó la relación entre la resistencia residual y la cantidad de fibras utilizada en su elaboración, dado que se visualizó que la capacidad de carga residual incrementó según incrementó la dosificación de la fibra. Al mismo tiempo, dio a conocer que el reporte TR34 muestra los más exactos y fiables resultados para establecer la carga límite que admite la losa de SFRC y que las estrategias de trabajo del ACI360R-06 deben utilizarse como guías preliminares de diseño porque tienen muchas restricciones de introducción de datos y sus monogramas se construyeron para la posición interna de la



carga. El autor también mencionó que el manejo de fibras metálicas en el concreto y la ductilidad del comportamiento de esta fibra implican que el diseño del concreto puede realizarse usando planteamientos plásticos, en los que se consiga llevar el material hasta las últimas etapas de resistencia, y como resultado, conseguir espesores inferiores a los requeridos para la losa concretada con armadura tradicional.

Guzmán (2015) en su trabajo de investigación *“Estudio técnico experimental de una placa de hormigón reforzada con fibras de acero apoyada en el suelo aplicado en obras portuarias”*, investigó el empleo de filamentos de acero en los pavimentos de hormigón con soporte sobre terreno, construyéndolos de acuerdo con los requisitos de la ROM 4.1-94, que establece que ambos pavimentos son similares en términos de capacidad de carga. Comparando los escenarios de carga en el pavimento sugeridos por el ROM, que fueron deducidos utilizando el informe TR-34, se llegó a la siguiente conclusión: En comparación con los pavimentos HC, los pavimentos HRFA desarrollan mayores cargas de rotura, aunque el contenido de fibra sea bajo, empleando hasta un 25% menos de espesor en los pavimentos HRFA.

Fajardo (2018), realizó una investigación, *“Determinación de la capacidad de carga residual al agrietamiento en concreto reforzado con fibras macro sintéticas o fibras metálicas, para losas industriales”* con el objetivo de determinar de la solvencia residual de filamentos macro sintéticos y metálicos utilizados en losas de industrias apoyadas en terreno. En términos de aplicación experimental, se buscó conocer la proporción de la solvencia residual Re3 del concreto en particular utilizando tres tipos diferentes de fibras, que corresponden a dos fibras sintéticas (Tuf-strand Sf y Rudedil Xfiber-54) y una fibra metálica (Bekaert Dramix). Se utilizaron dos dosificaciones relevantes establecidas para cada tipo de fibra (una mínima y una máxima), lo que permitió la interpolación entre valores medios a la hora de diseñar los pisos industriales. Además,



sólo se empleó un tipo de fuerza de compresión para todos los modelos. Basándose en los informes de las pruebas, se determinó que se debe utilizar un mínimo  $3.25 \text{ kg/m}^3$  para alcanzar el porcentaje residual del 30 %. Al mismo tiempo, se determinó que el grosor de la losa puede reducirse utilizando filamentos en el diseño, en este caso, empleando  $4 \text{ kg/m}^3$  del filamento Tuf-Strand Sf se consiguió una mengua del 25 %. La utilización de fibras como refuerzo también permitió ahorrar costes en materiales que requieren trabajo laborioso, lo que se tradujo en beneficios económicos.

### 2.1.2 Antecedentes nacionales

Sotil & Zegarra (2015), en su tesis de investigación “*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*” compararon concienzudamente los distintos cambios en las especificaciones físicas y mecánicas principales del concreto con reforzamiento de fibras para aplicarlo a los pavimentos rígidos (losas industriales), así como describieron cuantificadamente las mejoras y/u optimizaciones resultantes de las pruebas experimentales. Donde se afirmó que es crucial entender la causa de las grietas en los pavimentos o losas de industrias para determinar qué procedimiento de conservación utilizar y delimitar si el defecto es basilar o no, también se afirmó que los filamentos de acero son una medida cautelar para controlar estas limitaciones, que sobre todo se centran en calzadas de concreto o losas. Estas fibras aportan una gran energía de rotura, sustituyendo a la armadura tradicional. Su investigación se centró en el método de diseño británico mediante la “Teoría de la línea de fluencia”, que establece la fuerza de derrumbe y la compara con el ultimo nivel de resistencia de la losa para la cual calcula los torques positivos y negativos provocados por las fuerzas aplicadas, así como el momento y la capacidad de punzonado según las particularidades de la losa fibroreforzada. Por último,



se aconseja efectuar una prueba de cargas para proporcionar coeficientes de seguridad más precisos y evitar el exceso de los cálculos de las losas reforzadas con fibra, mejorando el rendimiento y la economía del proyecto.

Montalvo (2015), en su investigación *“Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales”* se centró en comparar el pavimento de concreto sin refuerzo, de concreto armado con varillas de acero y de concreto con reforzamiento de fibras de acero. Para ello, comparó las metodologías de diseño, los esfuerzos teóricos, las metodologías de construcción y los costos unitarios en cada escenario. Las diferencias en los parámetros de diseño se demostraron utilizando un proyecto real, y los investigadores llegaron a la conclusión de que estas diferencias se debían a las propiedades del hormigón. Por otro lado, menciona que un requisito es el total aproximado de operaciones de paso que tendrá el vehículo cuando se utiliza el PCA para diseñar la capacidad de carga del pavimento. El TR-34, por su parte, hace uso de las condiciones menos favorables o la mayor carga que puede soportar el pavimento ya que opera dentro de ciertas limitaciones energéticas. Ambos diseños utilizan los mismos parámetros, pero difieren en cuanto a los coeficientes de seguridad, ya que utilizan metodologías de diseño diferentes.

Córdova, et al. (2019), tuvo como objetivo principal en su investigación *“Fibras de acero en la resistencia a la compresión del concreto”*, medir el impacto de los filamentos de acero en especímenes de concreto sometidas a resistividad a la compresión. La prueba de resistividad a la compresión se dividió en tres conjuntos, cada uno con tres especímenes, incluyendo un conjunto de mando y dos de experimento que contenían fibra en concentraciones de 25 y 30 kg/m<sup>3</sup>. Los especímenes se sometieron a fuerzas de compresión cuando tenían 14 días. Los estudios concluyeron que el conjunto con mayor resistividad tenía una resistencia de 212.39 kg/m<sup>3</sup>, superando en 1,1% al conjunto de



mando. Este grupo específico tenía  $25 \text{ kg/m}^3$  de fibras.

### 2.1.3 Antecedentes regionales

Isidro (2018), en su investigación, *“Influencia de la adición de fibras de acero en las propiedades del concreto empleado para pavimentos en la construcción de pistas en la ciudad de puno-puno”*, como objetivo principal tuvo, cuantificar el efecto de la adición de las fibras. Las propiedades examinadas incluyeron la resistividad a la compresión simple, la flexión, asentamiento, así como un desglose de costos por metro cuadrado de calzada. El estudio se ha basado en un concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , al que se añadieron fibras en dosis  $45 \text{ kg/m}^3$ ,  $30 \text{ kg/m}^3$ ,  $20 \text{ kg/m}^3$  y  $10 \text{ kg/m}^3$ . La fórmula de mezclas se realizó utilizando el método del Comité 211 y ensayos de laboratorio realizados de acuerdo con las normas técnicas peruanas para diversas adiciones de fibra, lo que llevó a la conclusión que la adición del filamento Sika Fiber CHO 80-60-NB al concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  aumenta su resistividad a la flexión y mejora ligeramente su resistividad a la compresión cuando se adiciona fibra en dosis de  $30 \text{ kg/m}^3$ , pero disminuye significativamente la trabajabilidad del mismo. De acuerdo con el incremento del aporte de fibra en el concreto, disminuye el espesor de pavimento rígido.

## 2.2 MARCO TEÓRICO

### 2.2.1 Losas sobre suelo

El término más conocido es “losa sobre suelo”, también es llamado como “losa a nivel”, estos describen suelos en interiores que están expuestos a cargas, pueden ser industriales, comerciales y residenciales. Previo al diseño de una losa industrial es necesario conocer el fin el uso previsto, el nivel de servicio, el equipo operativo, las cargas exigentes, la resistencia a la degradación superficial y el grado de acabado, entre otros factores (ACI360R-10 (2010); Salsilli (2013).

Los tipos de losas según su diseño sobre suelo son (ACI360R-10, 2010):





- Losas de concreto no reforzado: Estas losas no llevan macro polímeros, telas metálicas, fibras de acero, barra, u otro tipo de refuerzo de acero.
- Losas reforzadas para limitar el ancho de fisuras: Estas losas son por retracción, restricción de temperatura y cargas aplicadas. El ancho de fisura está controlado por el número de armaduras distribuidas colocadas en el último tercio del grosor de la losa.
- Losas estructurales: Son losas que transfieren cargas verticales u horizontales desde otras áreas de la estructura al suelo.

### 2.2.2 Cargas

Las losas de concreto sobre suelo están sometidas a alguna combinación de las cargas y efectos descritos en la tabla 1. La tabla 1 muestra las cargas y las variables que controlan el diseño de la losa. Las losas deben estructurarse para los efectos combinados más exigente de estas cargas, teniendo en cuenta cualquier factor que plantee más tensión (ACI, 2010).

La carga del eje, el espaciado de las ruedas y el área de contacto del neumático son especificaciones del vehículo (ACI, 2010; Córdova et al., 2012).

La selección de cargas también debe ir de la mano con la elección de factores ambientales y de seguridad como son:

- Factores ambientales: Los efectos térmicos y de temperatura provocan tensiones internas en las losas reforzadas con fibra debido al esparcimiento del terreno o un cambio de concentración de humedad en la calzada (ACI, 2010; Córdova et al., 2012).
- Factores de seguridad: Las losas industriales deben cumplir requisitos únicos de capacidad de servicio, estos son: minimizar el agrietamiento y rizado, aumentar la durabilidad de la superficie, mejorar la ubicación de las juntas e incrementar la

planitud y nivelación a largo plazo. Estos factores oscilan entre 1.7 y 2.0 (ACI, 2010; Córdova et al., 2012).

### 2.2.3 Juntas

**Tabla 1:**

*Tipos de carga en losas.*

<b>Cargas</b>	<b>Definición</b>	<b>Variables que afectan el espesor y diseño</b>
Cargas vehiculares	Las mayores cargas en las losas industriales son generalmente de los stackers y los camiones.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cargas máximas por eje.</li><li>- Distancia entre ruedas cargadas.</li><li>- Área de contacto de neumáticos y,</li><li>- Repeticiones de fuerzas vehiculares.</li></ul>
Cargas concentradas	También llamadas fuerzas aplicadas, pueden ser postes o extensiones de maquinarias apoyadas sobre el piso que generan una fuerza de 180 kN o más.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Carga máxima o representativa del poste.</li><li>- Duración de la carga.</li><li>- Espacios entre poste y ancho de pasarela.</li><li>- Ubicación de la carga concentrada en relación con la junta de la losa.</li></ul>
Cargas distribuidas	Las cargas distribuidas se refieren a los materiales que son almacenados directamente en la losa sobre el suelo.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Intensidad de carga máxima.</li><li>- Tiempo de carga quieta.</li><li>- Anchura y largura de la superficie cargada.</li><li>- Ancho de pasarela.</li></ul>
Cargas lineales	Las cargas lineales son una carga uniforme en un área relativamente estrecho.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Intensidad de carga máxima y tiempo de carga quieta.</li><li>- Anchura y largura de la superficie cargada.</li><li>- Ancho de pasarela.</li><li>- Ubicación de dovelas paralelas al pasillo.</li><li>- Cargas inusuales.</li><li>- Cargas que no se ajustan a las anteriores, pueden diferir en:</li><li>- Ordenación de la superficie cargada.</li></ul>

*Nota:* Tomado de “Design of Slabs-on-Ground”, ACI360R-10 (2010).

En la ejecución de las calzadas de concreto sobre el suelo se utilizan las juntas para limitar la frecuencia y la anchura de las grietas aleatorias causadas por los cambios de volumen. Por lo general, si se puede limitar el número de juntas o aumentar la distancia entre ellas sin aumentar el número de grietas aleatorias, se reducirá el mantenimiento del suelo. En las losas de concreto sobre terreno se suelen utilizar tres diferentes tipologías



de juntas: juntas para aislar, juntas de machihembrado y juntas de alabeo (ACI Committee 360, 2010).

- Juntas de aislamiento: Son utilizadas donde hay libertad vertical y horizontal, donde se requiere un movimiento entre el piso y contiguo.
- Juntas de alabeo por corte de sierra: Estas juntas son usadas para limitar la losa de piso aleatorio, para determinar el espaciado de las juntas se toman ciertos factores.
- Juntas de construcción o juntas de machihembrado: Se colocan en una losa para definir la extensión de las ubicaciones individuales, deben colocarse a la altura adecuada y brindar el soporte necesario para que el dowel se mantenga simple y resistente.

#### **2.2.4 Concreto con fibras**

El concreto con filamentos o fibras consta de dos fases principales bien diferenciadas, siendo la primera el concreto y la segunda los filamentos o fibras, que pueden ser de acero, vidrio, polipropileno, nailon, etc., más comúnmente utilizados en acero. Los filamentos de acero son cuerpos discontinuos que a menudo tienen extremos en forma de gancho para aumentar su adherencia al concreto, hay muchos tipos diferentes de fibras de acero, y sus características pueden influir en la adherencia entre el hormigón y la fibra (Lozano, 2016, como se citó en Sotil & Zegarra, 2015; Maccaferri, 2007).

La primera patente de los concretos reforzados con fibras fue registrado en 1874 por Berard (Velasco, 2008, como se citó Shimosaka, 2017), siendo en 1910 que Porter consideró como un concepto la inclusión de pedazos de acero al concreto como material estructural (Swamy, 1975, como se citó en Shimosaka, 2017).

##### **2.2.4.1 Fibras de acero**

Según el American Concrete Institute (ACI 544.1R, 1996 como lo citó Maccaferri, 2016), las fibras de acero pueden describirse como longitudes discretas de acero con un factor de forma lo suficientemente grande como para dispersarse aleatoriamente y



mezclarse con el concreto fresco de forma convencional. Los principales objetivos de añadir fibra de acero al concreto son: mejorar el control de las grietas del concreto, e incrementar la resistividad al impacto, a la fatiga y a la flexión (Maccaferri, 2016).

#### **2.2.4.2 Aplicaciones de las fibras de acero**

El concreto con fibras o filamentos para pavimentos es una de las principales aplicaciones en el país vecino, Brasil, como lo menciona Domingues et al. (2011) en su artículo, la aplicación se debe a ciertas ventajas tecnológicas del uso de filamentos o fibras en calzadas de concreto, la primera es que elimina el paso de colocar el acero tradicional, lo que reduce el tiempo total de que se tarda en completar el proyecto y el número de trabajadores necesarios. Como consecuencia, se genera un ahorro en la economía porque ya no es necesario habilitar ni colocar este acero. Las fibras no requieren espaciadores, solo la correcta vibración y existe una mayor facilidad en el acceso a la obra, pudiéndose realizar con facilidad el vaciado del concreto (p. 277).

Autores de investigaciones afirman que, en el año 1971 el ejército de los EE.UU, en Army Construction Engineering Research Laboratory realizaron experimentos sobre el concreto reforzado con fibras (relación con el volumen del 2%) en losas que se utilizan para el despegue en el aeropuerto de Vicksburg, Missisipi. La comparación se realizó entre una calzada de concreto de 15 cm de grosor reforzado con filamentos con una calzada de 25 cm armado con acero tradicional, mientras que la losa de concreto con filamentos de acero requirió 350 cargas para agrietarse, el concreto con acero tradicional solo necesitaba 40, demostrándose así estar en condiciones de uso, incluso con grietas presentadas (Shimosaka, 2017).

#### **2.2.5 Propiedades mecánicas del concreto con fibras de acero**

- a. Resistencia a la flexión del concreto con fibras de acero

En estudios realizados a base de ensayos experimentales se resume que, “La resistencia a flexión con la adición de fibras en dosificaciones altas incrementa la resistencia casi el doble para cuantías del 1% y casi el triple para cuantías del 2%, asimismo la energía de fractura incrementa” (Ávila & Buriticá, 2016, p. 23).

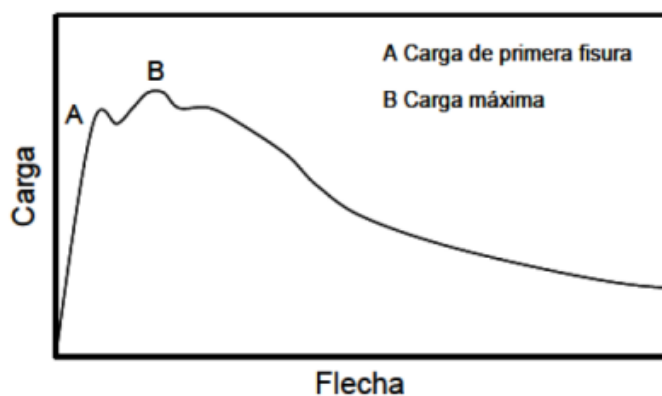
En la Revista Ingeniería de Construcción el autor menciona:

El aumento de la flexibilidad máxima demostrado en su estudio es coherente con las conclusiones de otros investigadores que evaluaron el impacto de las fibras en la flexibilidad del concreto y descubrieron que el uso de los filamentos de acero aumentaba la flexibilidad límite del concreto entre un 3 % y un 81 % en comparación con el concreto simple. Como consecuencia, se descubrió que el método de falla del SRFC en tracción por flexión había pasado de ser flexible y elástico a rígido como resultado de la adición de una cantidad superior de fibra en esa área concreta (Carrillo et al., 2016, p. 67).

Según la investigación de Ramos (2012), la adición de fibras de acero al concreto aumenta la resistividad al flexo tracción y más que la resistividad a la compresión y a la tracción. Ello se debe al dinamismo dúctil del concreto con filamentos de acero en la fisura, dando lugar a resistencias residuales como se aprecia en la figura 2.

### Figura 2:

*Curva a flexo tracción para un SRFC, carga-flecha.*



*Nota:* En la curva se observa la resistencia residual generada por la incorporación de la fibra en el concreto, este inicia entre el punto A y B. Tomado de Ramos (2012).

En el punto A se ocasiono la primera fisura debido a una carga, y en el punto B se observa la resistencia residual que se creó para soportar una carga máxima.

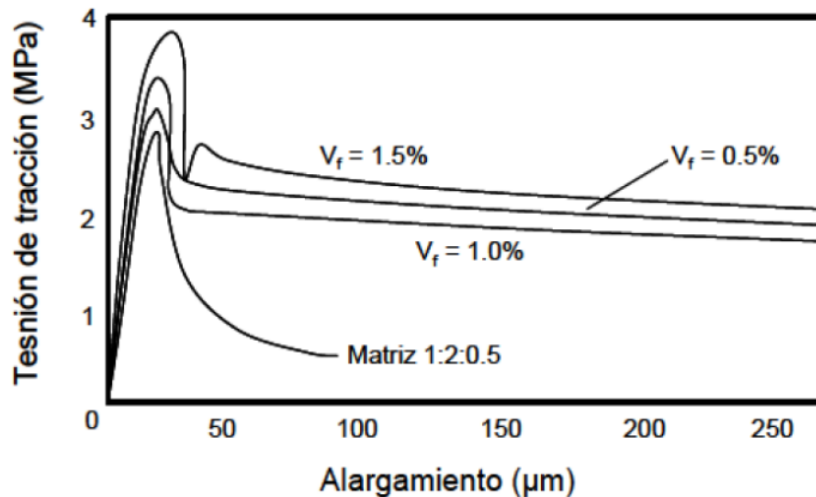
b. Resistencia a la tracción del concreto con fibras de acero

Según el Instituto Americano del Concreto, las fibras aumentan significativamente la respuesta previa a la fisuración en comparación con un hormigón sin fibras. También aumentan significativamente la resistencia residual después del agrietamiento debido a la cohesión entre las dos caras de la fisura (ACI544.1R-96, 2009).

“El efecto más significativo en el comportamiento mecánico del concreto debido a la presencia de las fibras se manifiesta en la resistencia a tracción post fisura, como se observa en la figura 3, con la adición de la fibra la resistencia a la tracción aumenta” (Massicotte, 2000, como se citó en Ramos, 2012).

**Figura 3:**

*Curva alargamiento de morteros- tensión de tracción.*



*Nota:* Curva de la resistencia por la adición de 0.5%, 1.0% y 1.5% de fibra al concreto ( $V_f$ ), el alargamiento de la fibra es en fusión de la tracción directa. Tomado de (ACI544.1R-96, 2009).

c. Resistencia de corte al punzonamiento del concreto reforzado con fibras de acero

Según los datos de una investigación efectuada sobre el uso de filamentos de acero, en la que se utilizaron vigas a escala real, aumentó hasta en un 30 % la resistividad del concreto con filamentos de acero al punzonamiento en comparación con el concreto

sin fibra. Las proporciones usadas fueron mayores al 0.5 % (Altoubat et al., 2009 y Yazdanbakhsh et al., 2015, como se citó en 544.4R-88, 2009).

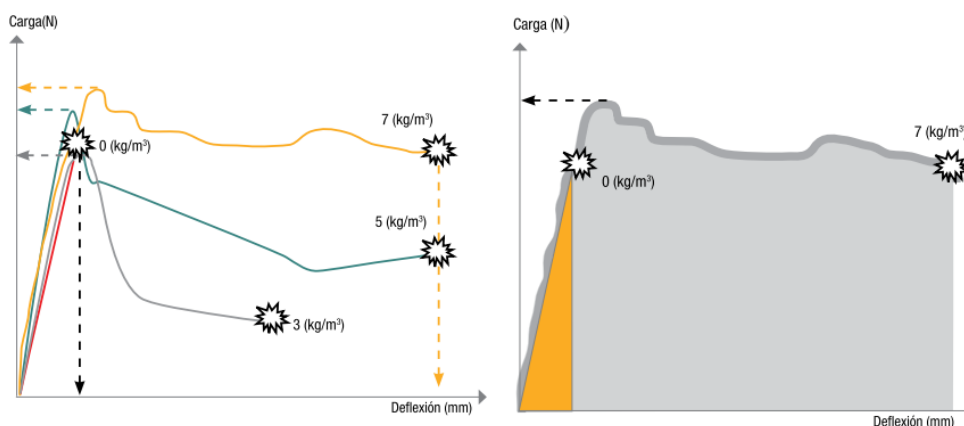
Por otro lado, Nguyen et al. (2011) concluyen que las fibras de acero mejoran significativamente la resistencia de corte al punzonamiento de las calzadas. Esto coincide con otros estudios. La resistencia de corte al punzonamiento de las losas incrementa entre un 9% y un 39.8 % cuando se utilizan fibras de acero con un volumen de fibra entre 30 a 60 kg/m<sup>3</sup> y este incremento es en proporción directa a la cantidad de fibra de acero utilizada.

#### d. Tenacidad

En estructuras como pisos, pavimentos, recubrimientos, taludes, túneles, la tenacidad es una propiedad crucial. Como se ilustra en la figura 4, cuando una estructura o elemento de concreto colapsa a partir de un cierto nivel de peso y deformación, la aplicación de fibras aumenta la durabilidad del material y disminuye la tendencia a la fisuración. El concreto con fibra de acero permite que la estructura siga “absorbiendo” carga después de la fisuración sin derrumbarse, lo que permite que la estructura siga funcionando (Sika, 2014, p. 10).

#### Figura 4:

*Tenacidad del concreto con y sin fibras.*



*Nota:* En la figura se aprecia los gráficos de la tenacidad de un concreto sin fibra que llega a un punto y cae, mientras que con la adición de las fibras (3 kg/m<sup>3</sup>, 5 kg/m<sup>3</sup> o 7 kg/m<sup>3</sup>), la estructura continúa soportando la carga sin colapsar. Tomado de Sika (2014).

## 2.2.6 Fibras wirand FF1 de Maccaferri

La empresa Maccaferri en Perú tiene una extensa variedad de fibras metálicas; para esta investigación se usó la fibra wirand FF1 de acero, en la tabla 2 se presentan las especificaciones técnicas.

**Tabla 2:**

*Especificaciones técnicas de la fibra wirand FF1.*

<b>Particularidades físicas</b>	<b>Unidad</b>	<b>FF1</b>
Coeficiente L/d (longitud/diámetro)	-	50
Margen de variación del valor unitario de la relación L/d	%	15
Margen de variación del valor promedio de la relación L/d	%	7.5
<b>Particularidades mecánicas</b>		<b>FF1</b>
Capacidad a tracción del acero	Mpa	>1100
Deflexión en la ruptura	%	<4
Módulo elástico	Mpa	210000

*Nota:* Tomado de ficha técnica wirand FF1, 2016.

## 2.2.7 Métodos de diseño para losa industrial

Para diseñar la losa industrial de concreto con armadura tradicional se utilizaron los métodos incluidos en la norma americana ACI360R-10, mientras que para diseñar la losa de concreto con fibra wirand FF1 se utilizó el reporte técnico británico TR-34, a continuación, se describen ambos métodos:

### 2.2.7.1 Métodos incorporados en la norma americana ACI360R-10

Como lo menciona Salsilli (2013), estos procedimientos previenen la creación de grietas en la calzada como producto de las tensiones aplicadas por medio de un dimensionamiento adecuado de la losa y de un factor general de seguridad (p. 56). De manera similar a como se establece en el estándar ACI (2010), esta norma aborda los diseños para losas sobre terreno, en particular losas industriales (p. 3).

#### *a. Método del PCA (Asociación del Cemento Portland)*

La metodología PCA se introdujo en 1984 y se basa en un análisis finito, que tiene en cuenta la fatiga y el criterio de erosión. El diseño se basa en gráficos de influencia de





Pickett, teniendo en cuenta las cargas correspondientes en el interior de la losa y las cargas que se encuentran en su superficie, pero no adyacentes al borde libre (Transportation Research Circular, 2007, como se citó en Bryan, 2015).

Los factores que participan en la verificación del grosor de la losa son descritos en las metodologías que presenta Salsilli (2013) en su manual de diseño de pisos industriales, y son detallados a continuación:

- Situación de una carga de un solo eje, este comprende las siguientes variables:
  - Tensión admisible por cada 1000 libras en el eje cargado
  - Área de contacto efectivo
  - Distancia entre ejes
  - Coeficiente de respuesta de la subrasante  $k$
  - Resistencia a la tracción por flexión
  - Factor general de seguridad

De este modo, con el monograma de la figura 5 y con las variables descritas se obtuvo como resultante el espesor de la losa.

La interacción de dos monogramas, figuras 5 y 6, es necesario para completar el diseño del piso industrial sometido a una carga de montacargas con eje dual. Con el monograma de la figura 5, las cargas equivalentes de eje dual se transforman en montacargas de eje sencillo. El monograma de la figura 6 contiene tres parámetros independientes y un parámetro dependiente que es el coeficiente de reducción de la tensión aplicada a la calzada por cada 1000 libras en el eje cargado (Society, 2016).

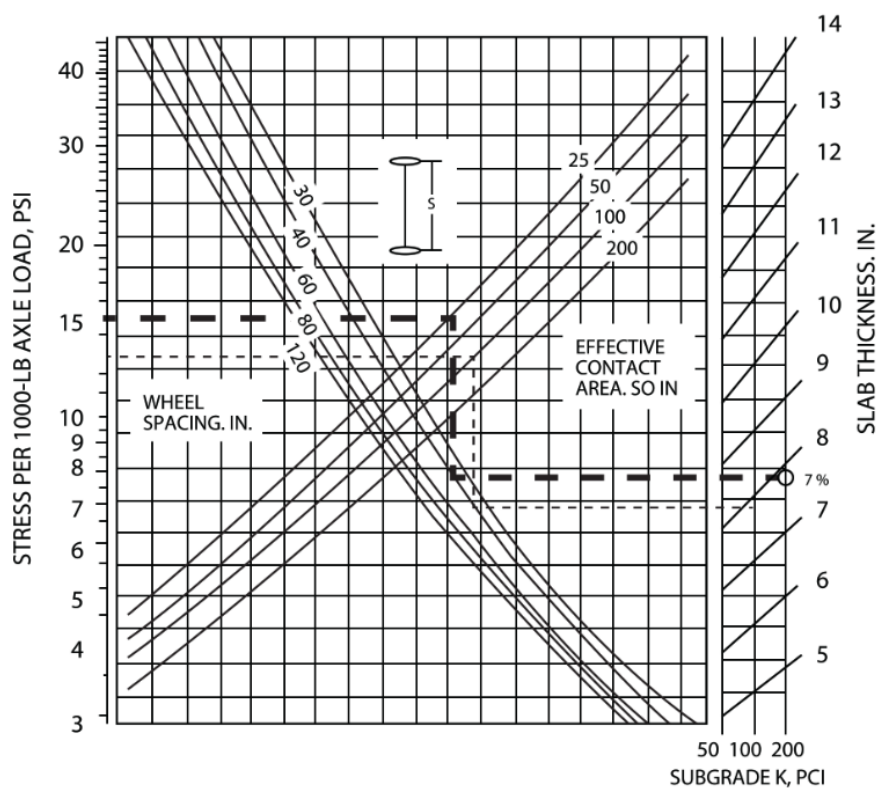
- Situación de cargas en estantería: para diseñar la carga de esta tipología se han utilizado los monogramas de las figuras 7, 8 ó 9; la semejanza entre ellos es el valor asociado al coeficiente de respuesta de subrasante, las variables de diseño son:

- Esfuerzo admisible por cada 1000 libras en el eje cargado.
- Carga de pilar (apoyo de estantería).
- Área efectiva, que se encuentra entre los valores  $10 \text{ in}^2$  y  $80 \text{ in}^2$ .
- Espaciamiento X, es el distanciamiento transversal entre postes, este deberá ser respecto al sentido más corto de la losa.
- Espaciamiento Y, distanciamiento longitudinal entre postes, este deberá ser con respecto al sentido más largo de la losa.
- Coeficiente de respuesta de la subrasante.
- Factor de seguridad.

Siendo así que, por medio del procedimiento descrito y el uso de los anteriores monogramas mostrados se obtiene a través del método PCA el ancho de la losa.

### Figura 5:

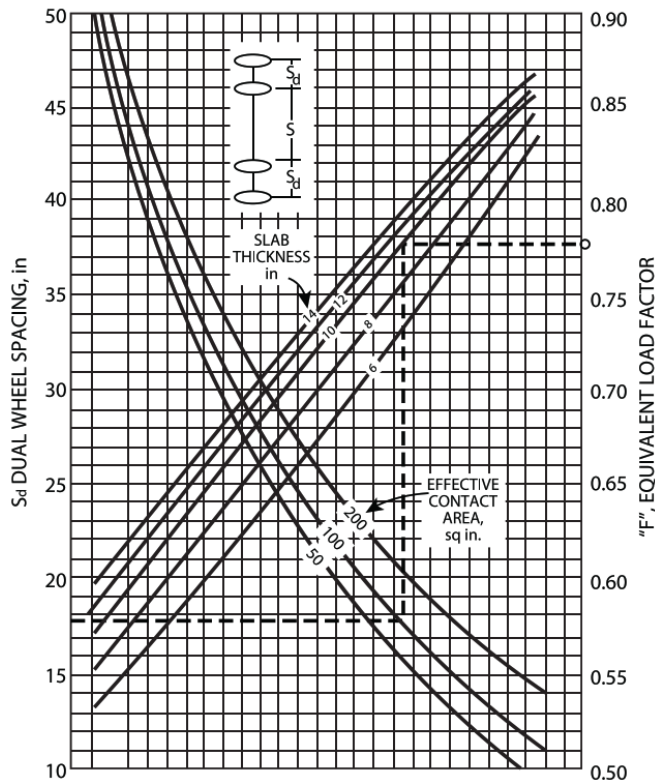
*Diseño gráfico de la PCA para fuerzas en ejes con rueda simple.*



*Nota:* Tomado del manual de diseño de pisos industriales (R. Salsilli, 2013, p.67).

**Figura 6:**

*Diseño gráfico de la PCA para fuerzas en eje con rueda dual.*



Nota: Tomado del manual de diseño de pisos industriales (Salsilli, 2013, p. 68).

- Determinación de acero distribuido

Para la configuración del acero en la losa ya dimensionada se tomará la siguiente fórmula (ACI360R-92):

$$A_s = \frac{L \times F \times w \times h}{2 \times f_s} \quad (1)$$

$F$  = coeficiente de fricción de la subrasante (1.5 para losas sobre terreno)

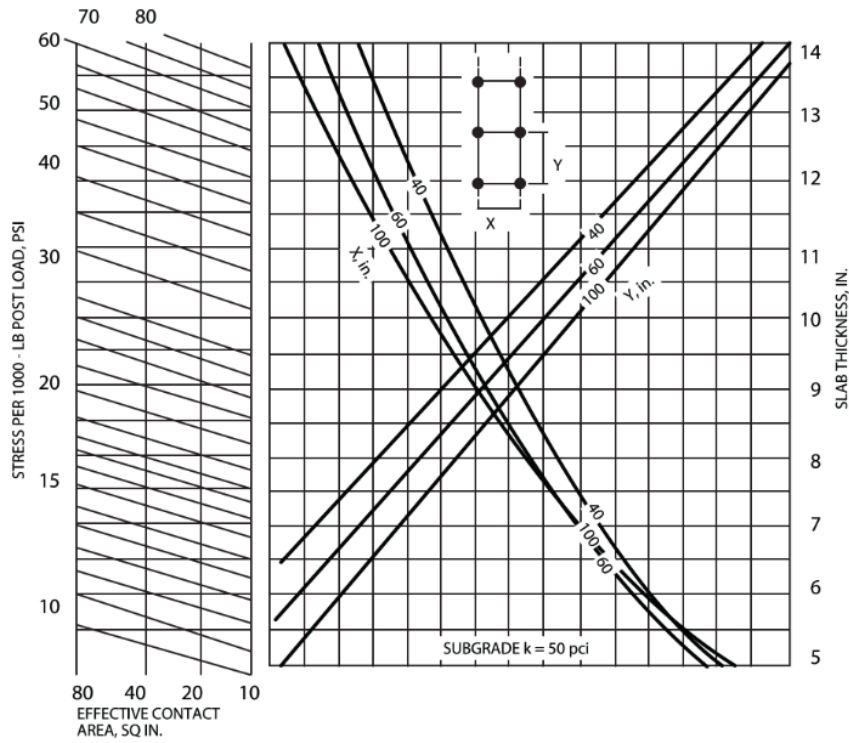
$f_s$  = Esfuerzo de tensión permisible del acero.

Como lo define el reglamento ACI318-11, citado en Julián et al. (2016), la cuantía crítica por temperatura y contracción en las losas sobre terreno o suelo es de 0.18 % de la sección del elemento, siendo así que el acero mínimo de la sección para las losas industriales es calculado con la siguiente fórmula:

$$A_{s_{\min}} = 0.0018 \times b \times d \quad (2)$$

**Figura 7:**

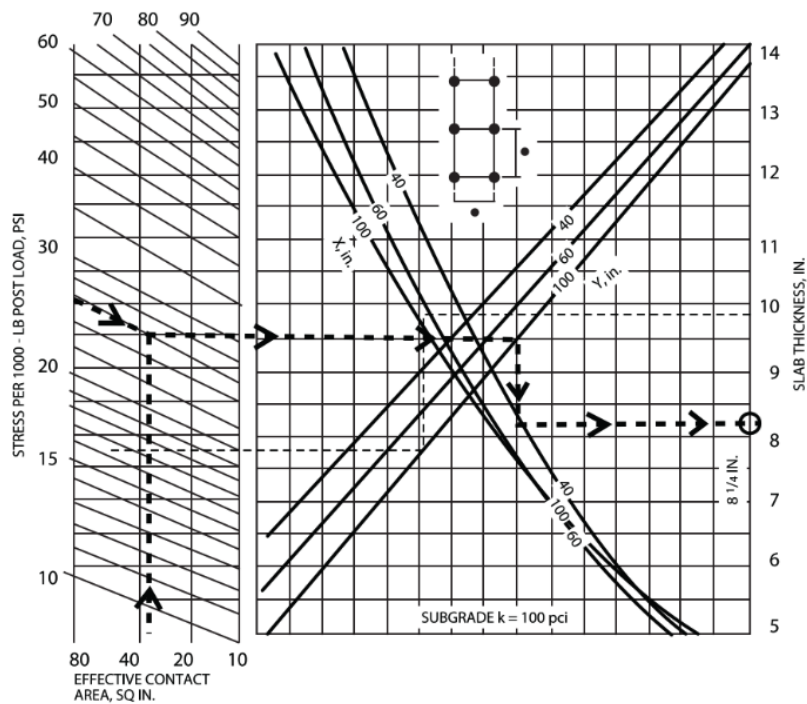
*Diseño gráfico de la PCA para carga en rack cuando  $k=50$  pci.*



*Nota:* Tomado del Manual de Diseño de Pisos Industriales (Salsilli, 2013, p. 68).

**Figura 8:**

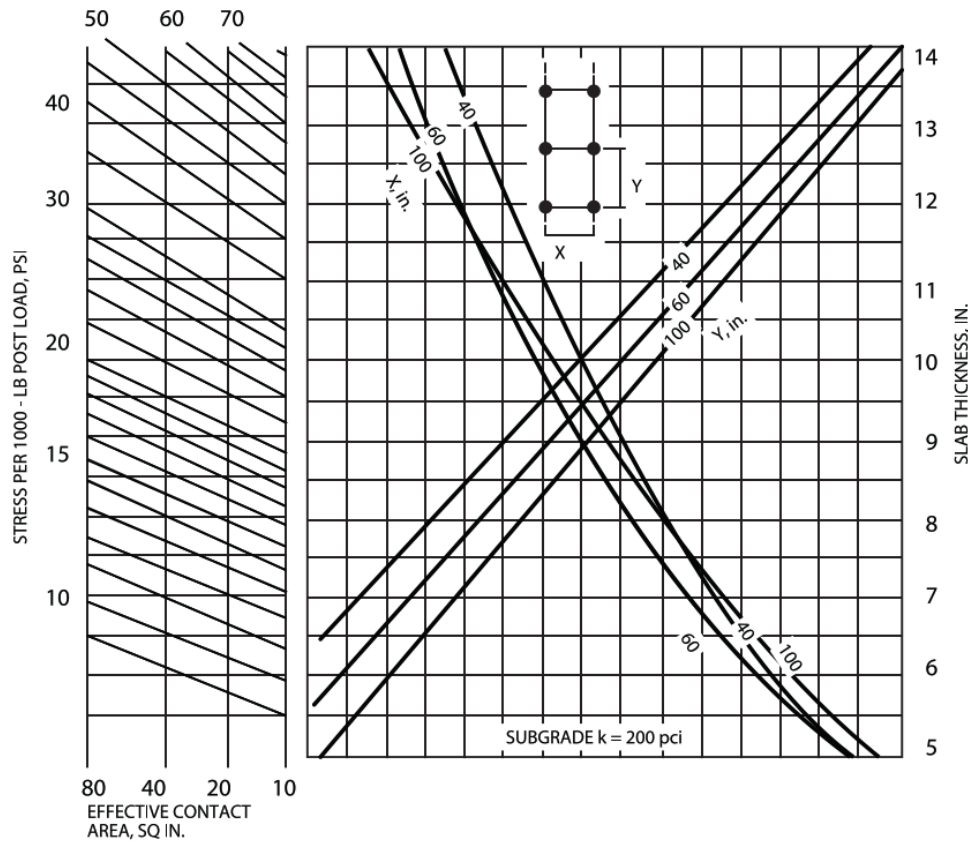
*Diseño gráfico de la PCA para carga en rack cuando  $k=100$  pci.*



*Nota:* Tomado del Manual de Diseño de Pisos Industriales (Salsilli, 2013, p. 68).

**Figura 9:**

*Diseño gráfico de la PCA para carga en rack cuando  $k=200$  pci.*



*Nota:* Tomado del Manual de Diseño de Pisos Industriales (Salsilli, 2013, p. 69).

*b. Método del COE (Cuerpo de Ingenieros)*

Este principio se fundamenta en la ecuación de Westergaard y solo es aplicable para el caso de cargas del borde de la losa de concreto sobre terreno.

Los datos de diseño son:

- Resistencia a la tracción por flexión
- Coeficiente de respuesta de la subrasante
- Tipo de vehículo
- Carga de las ruedas
- Escala de clasificación de indicador de diseño
- Módulo de elasticidad

**Tabla 3:**

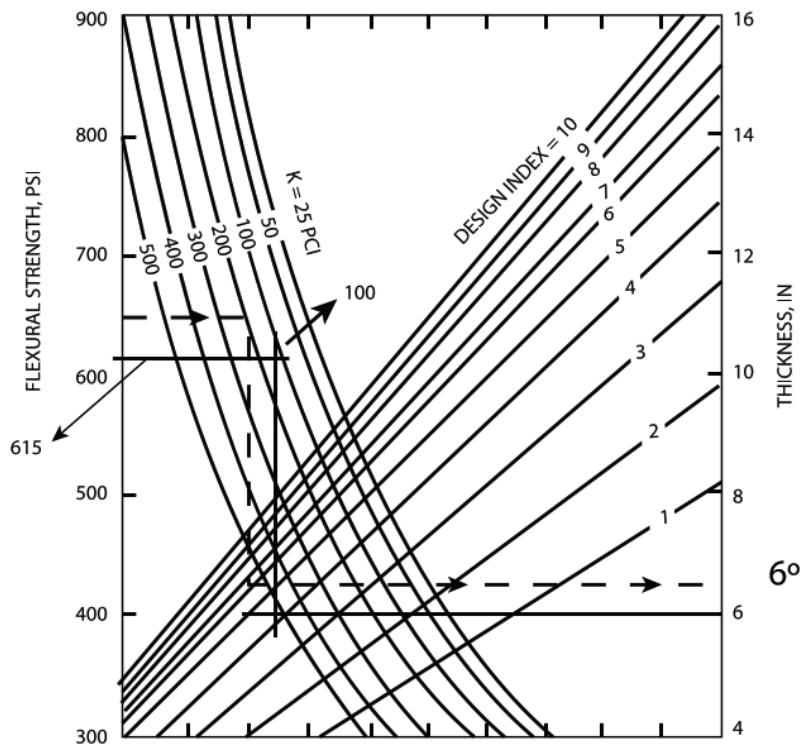
*Escala de clasificación de indicador de diseño, COE.*

Clasificación	Unidad	I	II	III	IV	V	VI
Capacidad.	lb	4000	6000	10000	16000	20000	52000
Peso por eje.	lb	10000	15000	25000	36000	43000	120000
Cantidad de neumáticos.	-	4	4	6	6	6	6
Tipo de neumáticos.	-	sólido	sólido	neumático	neumático	neumático	neumático
Superficie de contacto del neumático.	in <sup>2</sup>	27	36.1	62.5	100	119	316
Influencia de presión de contacto.	psi	125	208	100	90	90	95
Anchura del neumático.	in	6	7	8	9	6	16
Distancia entre ruedas.	in	31	33	11.42.11	13.58.13	13.58.13	20.79.20
Ancho de pasarela.	in	90	90	132	144	144	192
Espaciado entre los neumáticos de doble rueda, in.	-	-	-	3	4	4	4

*Nota:* Tomado de Salsilli (2013).

**Figura 10:**

*Monograma de cálculo para determinar el ancho de la losa, COE.*



*Nota:* El espesor se calculará con el monograma de acuerdo con el indicador de diseño. Tomado de Salsilli (2013).

Con las variables de diseño se identificó correctamente la escala de clasificación de indicador de diseño en la tabla 3, lo que permitió elegir el espesor del piso de concreto utilizando el monograma de la figura 10.

*c. Método del WRI (Instituto de Refuerzo con Cable)*

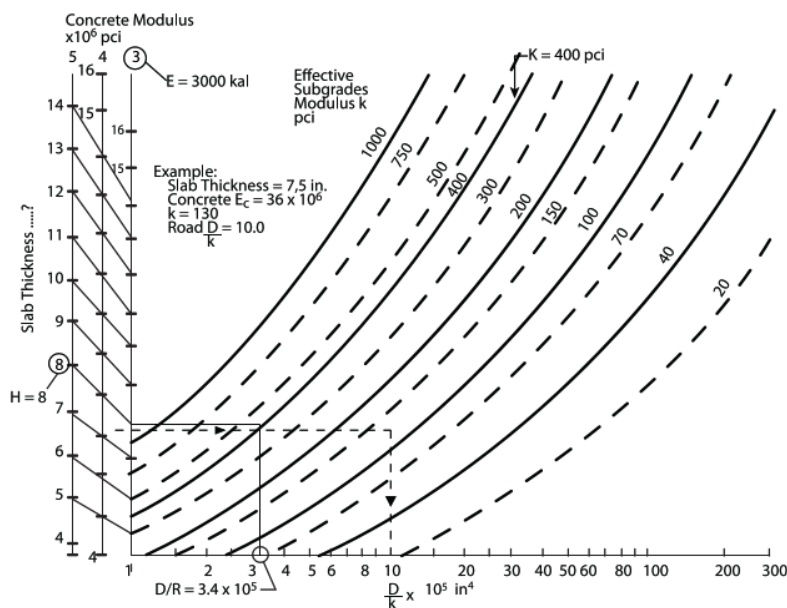
Los monogramas de diseño basados en el WRI para losas, se desarrollan exclusivamente para la operación de carga interna en la losa y se basan en un esquema de elementos discontinuos (Salsilli, 2013, p.72).

Las variables de diseño son:

- Elasticidad del concreto
- Coeficiente de respuesta la subrasante
- Ancho provisional de losa
- Diámetro o superficie de carga equivalente
- Distancia entre ruedas
- Resistencia al flexo tracción del concreto y esfuerzo de trabajo

**Figura 11:**

*Relación entre la subrasante y la rigidez de la losa, método WRI.*

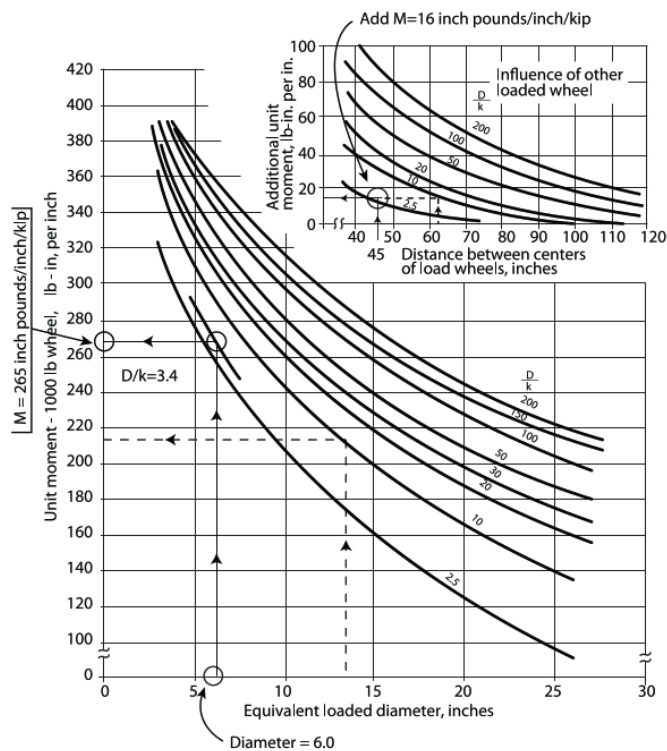


*Nota:* La figura requiere de los datos:  $E_{cm}$ ,  $h$ , y  $k$ , para la obtención de la rigidez relativa. Tomado de Salsilli (2013).

Para diseñar utilizando la metodología WRI, se utilizan monogramas para las cargas básicas del eje simple y se comprueba el diseño para el momento en una pasarela debido a la carga uniforme.

**Figura 12:**

*Monograma de cálculo para fuerza de neumático, método WRI.*



*Nota:* Para la obtención del momento a flexión, la figura requiere de los siguientes datos: área de contacto que tiene la rueda, su diámetro equivalente y el espacio entre estas. Tomado de Salsilli (2013).

- Situación de una carga de un solo eje: Para el uso del monograma presentado en la figura 11 y la obtención del parámetro de rigidez relativa se requiere de los datos  $E_{cm}$ ,  $k$ , y  $h_{asum}$ .

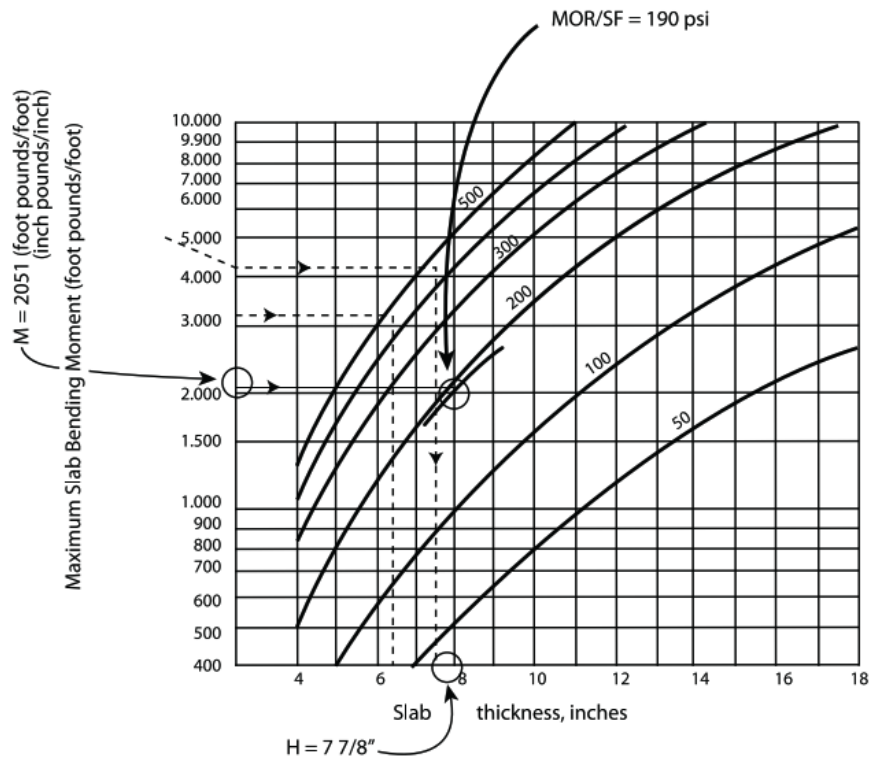
Para utilizar el monograma de la figura 12, se introducen los siguientes datos: la superficie de contacto de rueda, equivalente diámetro de círculo y espacio entre ruedas; de este modo se obtiene el momento básico de flexión de carga de la rueda. Del mismo modo, el momento adicional debido a la otra rueda se obtiene utilizando el monograma pequeño de la figura 12.



Para el uso del monograma de la figura 13 se requiere de datos de momento, carga de eje, carga de riega y momento de diseño. A partir de los datos aplicados en el monograma se obtiene como resultado la tensión de tracción admisible y el ancho del piso.

**Figura 13:**

*Monograma para la tensión de tracción en la losa, método WRI.*



Nota: Tomado de Salsilli (2013).

En caso el espesor de diseño diverge significativamente con el espesor tentativo asumido inicialmente, el procedimiento debe repetirse con un nuevo espesor tentativo de losa.

La cantidad de refuerzo distribuida debe colocarse en el tercer tramo superior de la losa, según la ACI360R-10, ya que la finalidad del refuerzo es evitar cualquier grieta que pueda producirse en las juntas.

### 2.2.7.2 Método con el reporte técnico británico TR-34.

El reporte técnico (TR-34) es un informe de instrucciones técnicas que cubre todos los aspectos sobre losas industriales: el diseño, las juntas, la construcción y la conservación. El TR-34 se basa en un análisis plástico.

(Society, 2016) afirma:

“En 1962, Meyerhof utilizó un análisis de resistencia última de losas basado sobre análisis plásticos (teoría de la línea de fluencia) y fórmulas de diseño obtenidas para cargas individuales internas, de borde y de esquina. También consideró combinaciones de dos y cuatro cargas.”

El desarrollo del diseño es del tipo de estado límite último, estos son de resistencia y de servicio, y las propiedades posteriores a la fisuración del concreto con reforzamiento de fibras FF1 son determinados a partir de la prueba europea de vigas con procesos descritos en la norma EN-14651.

#### a. Factores parciales de seguridad.

Los factores parciales de seguridad usados en las losas apoyadas en suelo serán:

**Tabla 4:**

*Factores parciales de seguridad de materiales.*

<b>Material</b>	<b><math>\gamma_m</math></b>
Concreto	1.5
Concreto con fibra	1.5
Refuerzo (Acero o tela)	1.15

*Nota:* Adaptada de Society (2016).

**Tabla 5:**

*Factores parciales de seguridad de cargas.*

<b>Tipo de carga</b>	<b><math>\gamma</math></b>
Carga puntual	1.2
Otros	1.5
Cargas dinámicas	1.6

*Nota:* Adaptada de Society (2016).

#### b. Procedimiento de diseño

Para el procedimiento de diseño con el reporte técnico británico TR-34 se requieren los siguientes datos de entrada:

*i. Propiedades de resistencia del concreto*

- Resistencia a flexión del concreto simple ( $f_{ctk,fl}$ )

$$f_{ctk,fl} = (1 + (\frac{200}{h})^{0.5})f_{ctk(0.05)} \leq 2f_{ctk(0.05)} \quad (3)$$

- Resistencia a la tracción a flexión del concreto ( $f_{ctd,fl}$ )

$$f_{ctd,fl} = f_{ctm} * \frac{(1.6-h/1000)}{\gamma_m} \quad (4)$$

Adicionalmente se deberá considerar los parámetros de la fibra de acero a adicionar al concreto y del terreno que soportará la losa industrial.

**Tabla 6:**

*Propiedades del concreto y resistencias relacionadas.*

Símbolo	Propiedad	Tipo de resistencia						Unidad	Explicación
		C25/ 30	C28/ 35	C30/ 37	C32/ 40	C35/ 45	C40/ 50		
$f_{ck}$	Resistencia a la compresión en molde (cilíndrico)	25	28	30	32	35	40	N/mm <sup>2</sup>	-
$f_{cu}$	Resistencia a la compresión en molde (cubo)	30	35	37	40	45	50	N/mm <sup>2</sup>	-
$f_{cm}$	Resistencia a compresión media en molde cilíndrico	33	36	38	40	43	48	N/mm <sup>2</sup>	$f_{ck} + 8$
$f_{ctm}$	Resistencia a la tracción axial promedio	2.6	2.8	2.9	3	3.2	3.5	N/mm <sup>2</sup>	$0.3 f_{ck}^{(2/3)}$
$f_{ctk(0.05)}$	Resistencia a la tracción axial	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.5	N/mm <sup>2</sup>	$0.7 f_{ctm}$
$E_{cm}$	Módulo de elasticidad	31.5	32.5	33	33.5	34	35	kN/mm <sup>2</sup>	$22(\frac{f_{cm}}{10})^{0.3}$

Nota: Adaptada de Concrete Society Technical Report 34 (Society, 2016).

ii. *Radio de rigidez relativa*

Numéricamente el radio de rigidez relativa esta expresada por:

$$I = \left( \frac{E_{cm} \times h^3}{12(1-\nu^2)k} \right)^{0.25} \quad (5)$$

iii. *Propiedades estructurales*

a) Capacidad de momento negativo

El reporte técnico de la sociedad del concreto (Society, 2016), menciona que: “Tenga en cuenta que ni la tela ni las fibras aumentan el momento de agrietamiento, por lo que, cuando el límite de diseño requerido es el inicio del agrietamiento, la capacidad de momento debe derivarse sobre la base de hormigón simple (no reforzado). Esto aplica en particular al momento negativo (acaparamiento) en losas apoyadas en el suelo”.

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

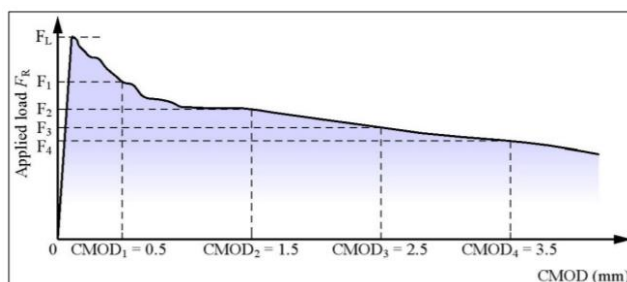
b) Capacidad de momento positivo para el concreto reforzado con fibras FF1

Los filamentos FF1 de acero adicionados al concreto le proporcionan un momento residual o posterior a la capacidad de fisuración.

A continuación, en la figura 14 se aprecia el gráfico que se generó al aplicar una carga a la viga para lograr una tasa constante de desplazamiento de apertura de boca de fisura. La carga aplicada y el desplazamiento medido se registran y proporcionan un gráfico de carga frente a CMOD.

**Figura 14:**

*Carga vs CMOD derivado de un ensayo de viga con la normativa EN-14651.*



*Nota:* Este gráfico muestra un ejemplo de carga vs CMOD derivado de un ensayo de viga con la normativa EN-14651 (Salsilli, 2013, p. 21).

**Tabla 7:**

Valores de la capacidad de absorber energía de las fibras FF1 de acero.

Dosificación de fibra		$R_{e,3}$ (%)
$Kg/m^3$	$lb/yd^3$	FF1
20	34	48
25	42	57
30	50	64
35	60	71

*Nota:* Esta tabla muestra los valores de tenacidad que llegan a tener las fibras FF1 de acero. Adaptado del manual: Filamentos como componente estructural para el refuerzo del hormigón (Maccaferri, 2007).

Se considera la resistencia equivalente a la flexión  $R_{e,3}$  para la fibra de acero elegido. Este parámetro viene determinado por el tipo de fibra y de la dosis asignada. La resistencia equivalente podrá obtenerse a través del ensayo UNE EN-14651:2007. Además, pertenecen a la base informativa del proveedor, en este caso, Maccaferri, quien suministró la fibra wirand FF1 de acero.

Según Salsilli (2013), la capacidad de momento puede calcularse primero calculando la resistencia a la tracción axial directa a partir de la resistencia a la flexión residual en cada uno de los CMOD's, siendo  $\sigma_{r1}$  a CMOD = 0.5 mm y  $\sigma_{r4}$  a CMOD = 3.5 mm.

Se derivan las siguientes fórmulas:

$$\sigma_{r1} = 0.45 * f_{r1} \quad (7)$$

$$\sigma_{r4} = 0.37 * f_{r4} \quad (8)$$

Usando el factor de seguridad del material  $\gamma_m$ , la capacidad ultima de momento de pandeo final de una sección de concreto con fibras se calcula usando la siguiente fórmula:

$$M_{up} = (h^2/\gamma_m)(0.29 * \sigma_{r4} + 0.16 * \sigma_{r1}) \quad (9)$$

c) Momentos flectores para cargas puntuales internas

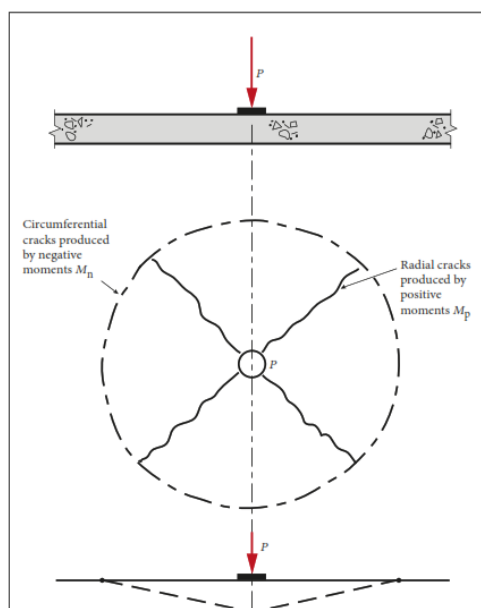
El momento flector bajo una carga concentrada “P” es más alto y positivo de manera directa debajo de la carga; mientras incrementa la distancia a la carga, el momento

circunferencial permanece positivo y decrece hasta cero a una distancia del valor del radio de rigidez relativa; ahora, se vuelve negativo y consigue su límite superior a una proximidad de dos veces el radio de rigidez relativa. El momento negativo máximo (tensión en la parte de arriba de la losa) es significativamente menor que el momento positivo máximo. El momento se aproxima a cero a una distancia de tres veces el radio de rigidez de la carga (Society, 2016).

Como se expone en la figura 15, cuando se tiene una carga puntual aplicada sobre un área circular pequeña internamente de un piso de concreto apoyada en terreno, mientras la carga incrementa, las tensiones de flexión por debajo de la carga son iguales a la resistencia a la flexión, y la losa va a empezar a ceder, dando lugar a grietas de tensión radial en la parte de abajo de la losa ocasionadas por momentos tangenciales positivos. Con cargas superiores, se piensa que los momentos se redistribuyen y no hay más incremento en el momento positivo, pero sí un aumento importante en el momento circunferencial a cierta distancia del sector cargada (Society, 2016).

### Figura 15:

*Desarrollo de fisuras radiales y circunferenciales en una losa de concreto.*



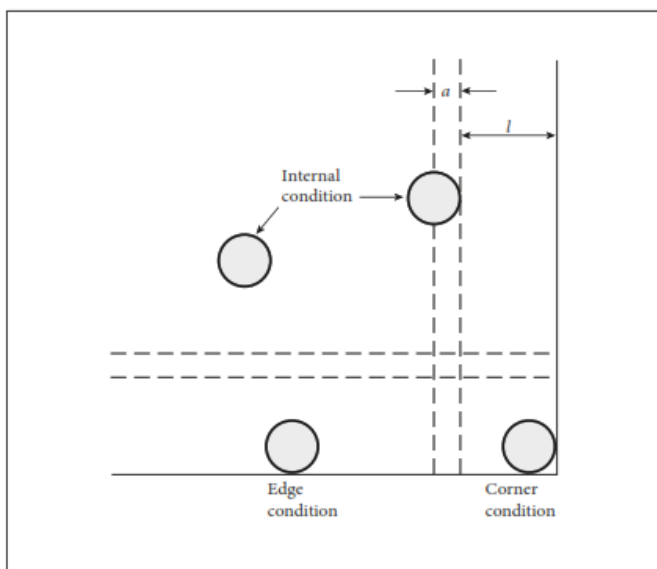
*Nota:* La figura representa el desarrollo de fisuras circunferenciales y radiales producidas por momentos en una losa de concreto sobre un suelo. Tomado de Society (2016).

En la figura 16 se observa las tres ubicaciones de carga consideradas por el diseño TR-34:

- Interno: El eje central de la fuerza se sitúa a una distancia más de  $(a + l)$  de un borde.
- Borde: El eje central de la fuerza se sitúa a una distancia aproximada adyacente a un borde o junta a más de  $(a + l)$  de una esquina.
- Esquina: El eje central de la fuerza se sitúa a una distancia  $(a)$  de cada uno de los dos bordes o juntas formando una esquina.

**Figura 16:**

*Definiciones de ubicaciones de carga.*



*Nota:* La figura representa las ubicaciones de cargas producidas en losas de concreto. Tomado de Society (2016).

- Ecuaciones para cargas en un solo punto:

A continuación, se incluyen las ecuaciones derivadas de Meyerhof para una carga interna, fronteriza y de esquina.

Para una carga interna:

$$a/l = 0:$$

$$P_{u,0} = 2\pi (M_p + M_n) \tag{10}$$

$$a/l \geq 0.2:$$



$$P_{u,0.2} = 4\pi (M_p + M_n) / [1 - (a/3I)] \quad (11)$$

Para una carga de borde:

$$a/I = 0:$$

$$P_{u,0} = [\pi (M_p + M_n)/2] + 2M_n \quad (12)$$

$$a/I \geq 0.2:$$

$$P_{u,0.2} = [\pi (M_p + M_n) + 4M_n] / [1 - 2a/3I] \quad (13)$$

Para una carga de esquina:

$$a/I = 0:$$

$$P_{u,0} = 2M_n \quad (14)$$

$$a/I \geq 0.2:$$

$$P_{u,0.2} = 4M_n / [1 - (a/I)] \quad (15)$$

*iv. Capacidad de corte al punzonamiento.*

Se tienen en cuenta dos criterios para la capacidad de corte al punzonamiento: el primero es considerar la cortante en la faz del sector de contacto y el segundo es en el perímetro crítico a una proximidad de “2d” de la faz del sector en contacto, siendo “d” la profundidad efectiva. El Eurocódigo no define la profundidad efectiva para losas reforzadas con fibra, por ende, debe tomarse cómo:  $d = 0.75 h$  (Society, 2016).

Para obtener la capacidad de fuerza máxima en punzonado (corte en la superficie del área de carga) se usará la siguiente fórmula:

$$P_{p,máx} = v_{máx} u_0 d^* \quad (16)$$

Donde la resistencia máxima al corte ( $v_{máx}$ ) dependerá de la resistencia a compresión del concreto, como se muestra en la tabla 8.



### Tabla 8:

Resistencia al corte por punzonamiento máximo  $v_{m\acute{a}x}$ .

	Resistencia a compresión $f_{ck}$ (Mpa)				
	25	28	30	32	40
Resistencia máxima al corte $v_{m\acute{a}x}$ (Mpa)	4.5	5.0	5.3	5.6	6.7

Nota: Tomado de BarChip (2018).

- Para el cálculo del punzonamiento en el perímetro crítico, se usará la siguiente

fórmula:

$$P_p = V_{Rd,c,min} u_1 d^* \quad (17)$$

La resistencia mínima de la cortante por punzonamiento del concreto no reforzado será calculado con la siguiente fórmula

$$V_{Rd,c,min} = 0.035 k_s^{1.5} f_{ck}^{0.5} \quad (18)$$

Para que se corrobore que el espesor de la losa en diseño deberá validarse que la capacidad de carga de perforación ( $P_p$ ) sea mayor a la carga de diseño de punto ( $d^*$ ).

Por investigaciones desarrolladas se tienen valores predeterminados para la resistencia mínima de la cortante por punzonamiento del concreto no reforzado siendo el que se visualiza en la tabla 9.

### Tabla 9:

Resistencia mínima de corte por punzonamiento del concreto no reforzado.

Profundidad de la losa (mm)	Resistencia a la compresión del concreto	
	$f'c = 28$ Mpa	$f'c = 40$ Mpa
150 - 250	0.52	0.63
300	0.5	0.60

Nota: Tomado de BarChip (2018).

## 2.3 MARCO NORMATIVO

### 2.3.1 Normativa internacional

American Concrete Institute: En el portal web de esta Institución, definen que ACI (sus siglas) es un organismo principal que desarrolla, difunde y adopta normas basadas en acuerdos, recursos técnicos y programas educativos de formación y certificación.



Asimismo, tiene por objetivo promover el progreso, innovación y colaboración de la industria del concreto, mediante sus investigaciones, becas e ideas propuestas (ACI, s.f.).

De la mencionada Institución, se rescata principalmente el informe de Diseño de losas sobre suelos, en su versión oficial denominado “Design of Slabs-on-Ground” (ACI360R-10), así también el Reporte del Concreto Reforzado con Fibra, en su versión oficial denominado “Report on Fiber Reinforced Concrete” (ACI 544.1R-96), y los requisitos de reglamento (ACI 318S-05) y comentario (ACI 318SR-05) para el concreto estructural, publicado en enero del 2005, en este documento, se detallan especificaciones de diseño de elementos estructurales como losas, muros, zapatas, y referencias de calidad de concreto (ACI318S/318SR, 2005), entre otras normativas más que son utilizadas para los diseños tanto de losas con acero tradicional o con refuerzo de fibras de acero, dentro de estas normativas también se incluyen normativas que orientan, guían y/o reglamentan la realización de estudios en las propiedades del concreto.

### **2.3.2 Normativa nacional**

Las Normas Técnicas Peruanas (NTP): Según el portal del comercio de la plataforma digital del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Midagri), el proceso de elaboración, difusión e implementación de normas técnicas para establecer las cualidades que debe poseer un determinado producto, proceso o servicio se denomina "normalización". Las especificaciones para la calidad de ellos se establecen en documentos denominados Normas Técnicas Peruanas. También, existen normas técnicas peruanas de terminología, métodos de ensayo, diseño de exhibiciones, empaques y rotulación que se complementan entre sí. Adicionalmente, se dice que el INDECOPI difunde a los interesados a través de la Comisión de Normas Técnicas y Comerciales las Normas Técnicas Peruanas (INDECOPI, 2022).



En esta investigación se utilizaron algunas de las normas de estos documentos relacionadas con los métodos de estudio, entre ellas: Norma Técnica Peruana NTP 339.034. Concreto: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en especímenes cilíndricos, publicado en el 2015 y la Norma Técnica Peruana, NTP 339.079. Concreto: Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en especímenes prismáticos simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo, publicado por INDECOPI en el 2012.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

La zona de estudio está ubicada en las propiedades de Impala Terminals Perú S.A.C. (“Impala”), específicamente en su depósito de concentrados de minerales.

Impala tiene como objeto social prestar los servicios de recepción, almacenamiento, despacho, embarque, desembarque, estiba, desestiba, admisión temporal tanto de minerales, concentrados y metales no ferrosos. Se encuentra ubicada en la avenida Contralmirante Mora N° 472, distrito La Perla, provincia Constitucional del Callao. El predio cuenta con tres frentes, hacia el Oeste con la avenida Contralmirante Mora, por el Sur con la avenida Atalaya y por el Este con la avenida Néstor Gambeta.

El depósito de concentrados de minerales se ubica en un terreno de 180 mil metros cuadrados, dentro del cual Impala tenía proyectado la reparación de 126 mil metros cuadrados de losas industriales, de las cuales aproximadamente 2500 metros cuadrados fueron reparados con losas de concreto con fibras FF1 los cuales fueron herramienta para la presente investigación, este proyecto fue otorgado a través de una orden de compra dirigida a la empresa ejecutora, el cual puede apreciarse en el Anexo 1.

El proyecto elegido para esta investigación contiene la siguiente información:

- Cliente: Impala Terminals S.A.C.
- Empresa Ejecutora: Design Ingeniería y Construcción S.A.C.
- Proyecto: Mantenimiento y reparación de pavimento del almacén Impala Callao 2020.
- Entidad financiadora: Impala Terminals S.A.C.
- Categoría de proyecto: Privado.

- Las coordenadas geográficas del proyecto son 12°2'48" Sur, 77°8'03" Oeste y la altitud donde se desarrolla este mismo oscila entre los 2 m.s.n.m. hasta los 10 m.s.n.m.

**Figura 17:**

*Depósito de concentrados de minerales, Impala Terminals S.A.C.*



*Nota:* Tomado del Expediente técnico.

**Figura 18:**

*Ubicación en google maps del depósito de concentrados de minerales.*



*Nota:* Ubicación de la empresa “Impala Terminals Perú SAC” donde se desarrolló el proyecto “Mantenimiento y reparación de pavimento del almacén Impala Callao 2020”. *Google maps*, 20 de diciembre del 2020.



El proyecto en ejecución fue considerado parte de esta investigación para poder evaluar los beneficios y resultados que tendría este diseño. En el Anexo 2 se aprecia la autorización por parte del Cliente y la empresa ejecutora para la presente investigación.

En el periodo de duración de esta investigación se ejecutaron seis tramos de losas reparadas en el depósito de concentrados de minerales, estos se pueden observar en el plano del esquema gráfico de resumen en el Anexo 3, para la presente investigación, solo cuatro tramos de las losas reparadas son seleccionados: tramo 13, 15, 16 y 18.

### **3.2 PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO**

El proyecto de investigación fue desarrollado desde el 01 de enero del 2020 al 31 de julio del 2020 donde se evaluaron las propiedades mecánicas (revenimiento, resistencia a compresión y a flexión), costos y tiempos de ejecución de las losas industriales de concreto con acero tradicional y con fibras wirand FF1 de acero.

### **3.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1 Nivel de investigación**

La investigación es de nivel correlacional cuyo propósito se centra en examinar las relaciones que existen entre las variables de las propiedades mecánicas, costos y tiempos de ejecución con la variable de dimensiones de la losa concretada con fibra wirand FF1.

En cuanto al carácter correlativo de una investigación, según Salkind (1998), citado en Bernal (2010), el objetivo de la investigación correlacional es investigar las conexiones entre variables o sus resultados; nunca pretende explicar por qué una es resultado de otra. Es decir, examina asociaciones, pero no las conecta con las causas (p. 114).



Hernández, R; Fernández, C; Baptista, P., (2014), afirman que el esencial aprovechamiento de los estudios correlacionales es comprender de qué forma se compara una idea o variable con el comportamiento de otra variable relacionada.

### **3.3.2 Tipo de investigación**

En relación con el propósito de la investigación, se ha establecido que según el diseño de investigación pertenece a la investigación no experimental cuantitativa.

Hernández et al. (2014) define la investigación de tipo no experimental como: “Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos” (p. 52).

Por otra parte, esta investigación permite dar una continuidad al conocimiento generado durante su desarrollo, ya que, a partir de la etapa de investigación y de los resultados se puede plantear interrogantes que demuestren la necesidad de iniciar nuevos contenidos de investigación con respecto a losas industriales.

### **3.3.3 Diseño de la investigación**

En su clasificación de éste, pertenece a una investigación transversal o también llamada transeccional, “Los diseños transeccionales o transversales son investigaciones que recopilan datos en un momento único” (Hernández & Mendoza, 2018, p. 177).

### **3.3.4 Población y muestra de estudio**

La población de estudio de esta investigación es el proyecto de mantenimiento y reparación de pavimento del almacén Impala Callao 2020 en el depósito de concentrados de minerales, propiedad de Impala.

La muestra de estudio es de tipo no probabilístico, intencionada y por criterio. Durante el periodo de investigación, la muestra no probabilística que se acomodó a los requisitos de la investigación fueron las losas de los tramos ejecutados con áreas mayores a 200 m<sup>2</sup>, siendo en total cuatro tramos (tramo 13, 15, 16 y 18) de un total de seis tramos

que fueron reparados en el periodo de la investigación, estos pueden observarse en el Anexo 3, en el plano de esquema gráfico resumen de las losas reparadas.

Siendo así, en este estudio de investigación para cada tramo de losa reparada la cantidad de ensayos tomados fueron según las normativas nacionales e internacionales de acuerdo con los volúmenes de concreto que se tenían en cada tramo de losa industrial.

a. Muestras para la medición del revenimiento del concreto

Se realizaron cuatro ensayos, dos para el concreto sin fibra y dos para el concreto con fibra FF1 de acero, para hallar el valor del revenimiento del concreto en fase fresca en cada tramo de losa ejecutada. El ensayo de revenimiento se llevó a cabo de conformidad con la norma ASTM C143/C143M-10 (2010).

**Tabla 10:**

*Cantidad de muestras para el ensayo de revenimiento del concreto fresco.*

Descripción	Adición	Cantidad
Concreto $f'c = 28$ Mpa	Sin fibra	2
Concreto $f'c = 28$ Mpa	Con fibra FF1	2

b. Muestras para la medición de la resistencia a compresión del concreto

De acuerdo con los requerimientos del reglamento ACI 318S/318SR (2005) para concreto estructural, se deben realizar dos probetas por cada muestreo de concreto, siendo un muestreo por cada  $120 \text{ m}^3$  de concreto (pp. 69-70). Como resultado, para los fines de la presente investigación, las muestras del ensayo de resistencia a compresión simple del concreto fueron según tramo de losa, donde se elaboraron tres especímenes mínimamente de concreto fresco sin fibra, y tres de concreto con la incorporación de fibra FF1 de acero.

Los ensayos de resistencia se efectuaron de acuerdo con la norma técnica peruana NTP 339.034 (2015), tanto para los especímenes de concreto sin y con fibras FF1 de acero.



**Tabla 11:**

*Cantidad de especímenes de concreto para la prueba a compresión simple.*

Descripción	Adición	Cantidad
Concreto $f'c = 28$ Mpa	Sin fibra	3
Concreto $f'c = 28$ Mpa	Con fibra FF1	3

*Nota:* La cantidad de ensayos descrita es por cada tramo de losa reparada.

c. Muestras para la medición de la resistencia a flexión del concreto

Así como lo menciona el ACI318S/318SR (2005) en su reglamento para concreto estructural, para el ensayo a flexión deben tomarse al menos dos especímenes, es de este modo que para la presente investigación se ensayaron tres vigas en el caso del concreto sin fibra y tres vigas en el que se utilizó concreto con fibras FF1 para cada tramo de losa ejecutado, siendo en total cuatro tramos, lo que resultó ensayar 12 vigas con cada tipo de concreto.

**Tabla 12:**

*Cantidad de especímenes prismáticas de concreto para el ensayo a la flexión.*

Descripción	Adición	Cantidad
Concreto $f'c = 28$ Mpa	Sin fibra	3
Concreto $f'c = 28$ Mpa	Con fibra FF1	3

*Nota:* La cantidad de ensayos descrita es por cada tramo de losa reparada.

**Figura 19:**

*Ensayo a flexión de viga de concreto sin fibra, NTP 339.079.*



Los ensayos se efectuaron de acuerdo con la normativa peruana NTP 339.079 para las vigas sin fibra y con la normativa europea EN-14651 para las vigas con fibras FF1.

Las dimensiones de las vigas de concreto tanto las que contenían fibra y las que no, midieron 55 cm (largo) x 15 cm (ancho) x 15 cm (alto).

**Figura 20:**

*Ensayo a la tracción por flexión de viga de concreto con fibra FF1, EN-14651.*



### 3.3.5 Análisis estadístico y prueba de hipótesis

#### 3.3.5.1 Análisis estadístico

El análisis estadístico es importante en un estudio de investigación porque permite evaluar los resultados obtenidos ya que ayuda a determinar la fiabilidad de los datos registrados en las pruebas basadas en métricas estadísticas. Para el desarrollo de este análisis se presentan las funciones estadísticas utilizadas (Flores & Mamani, 2018, p. 42).

##### A. Media aritmética

También es conocido como el promedio. En esta investigación será el promedio de los resultados obtenidos según al grupo independiente seleccionado y será calculado de acuerdo con la siguiente formula:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 \dots + X_n}{n} \quad (19)$$

Donde:  $X_1 + X_2 + X_3 \dots + X_n$ , son los diferentes resultados de las pruebas realizadas, y “n” es la cantidad total de estas para esa evaluación.

##### B. Desviación estándar

La métrica de dispersión más aceptada es la raíz cuadrada del valor medio de la adición de los cuadrados de las desviaciones dividido por el número de pruebas menos uno, como muestra la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + (X_3 - \bar{X})^2 \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (20)$$

### 3.3.5.2 Prueba de hipótesis

Es necesario que la data se atenga a una normalidad para poder realizar la prueba de hipótesis. Además, en el desarrollo estadístico se formula una hipótesis, es decir, se hace una afirmación, y o bien se confirma o bien se determina que la hipótesis es falsa (Pasquel, 1999; Cruz, 2010, como lo citó Flores & Mamani, 2018).

Para proceder con la prueba student y rechazar o aceptar la hipótesis nula planteada en cada prueba individual, se realizaron la prueba de normalidad y la verificación del diagrama de dispersión para los grupos de los resultados de resistencia a la compresión y a la flexión.

Para la prueba de hipótesis primero se plantearon las hipótesis y se eligió el nivel de significancia, para continuar con el cálculo de la distribución de t de student.

- Enunciado de hipótesis la nula y alterna

Para este estudio de investigación, se realizó la prueba de hipótesis a los resultados de las resistencias a compresión y flexión del concreto, así también a los resultados de costos y tiempos. Para esto, primero se planteó la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) en cada caso.

La hipótesis nula ( $H_0$ ), es una aserción que no se rechaza a no ser que los datos de la muestra aporten pruebas convincentes de que es falsa.

La hipótesis alterna ( $H_1$ ), es cualquier hipótesis que diverge de la hipótesis nula. Esta investigación es de tipo hipótesis unilateral, donde se especifica que la dirección debe ser mayor o menor que el valor aceptado.

- Selección del nivel de significancia

El nivel de significancia para este estudio es 0,05 (intervalo de confianza del 95 %), que suele ser el valor utilizado para analizar resultados de resistencia específicos. En cada instancia de una prueba de hipótesis, el valor de 0.05 se usa para calcular el valor  $t$  de student. Para calcular los grados de libertad se empleará la fórmula  $n_1 + n_2 - 2$ .

### 3.3.5.3 Distribución $t$ de Student

Es una repartición de probabilidad que resulta del desafío de medir la media de una población distribuida normalmente y cuyo tamaño de la muestra es inferior a 30.

La distribución  $t$  de student es calculado mediante:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)*S_1^2+(n_2-1)*S_2^2}{n_1+n_2-2}} \quad (21)$$

$$t_p = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p * \sqrt{\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (22)$$

Donde:

$n_1$  y  $n_2$ : tamaños de los grupos 1 y 2 respectivamente.

$\bar{X}_1$  y  $\bar{X}_2$ : medias aritméticas de los grupos 1 y 2 respectivamente.

$S_1^2$  y  $S_2^2$ : varianzas de los grupos 1 y 2 respectivamente.

Con el valor de significancia, a través del uso de la tabla estadística del anexo 12 se obtiene el valor de  $t_\alpha$  y se compara con el valor obtenido de estadístico de prueba ( $t_p$ ).

Para los grupos evaluados de resistencia a flexión y compresión se planteó:

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

$$H_1: u_1 > u_2$$

Entonces “se rechaza” la hipótesis nula ( $H_0$ ) si:  $t_p > t_\alpha$

Y para los grupos evaluados de costos y tiempos se planteó:

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

$$H_1: u_1 < u_2$$



Entonces “se rechaza” la hipótesis nula ( $H_0$ ) si:  $t_p < -t_\alpha$

### 3.3.6 Variables

Para este estudio se determinaron las variables siguientes:

- Variable independiente:
  - Calificación de las propiedades del concreto con fibras de acero FF1: por la complejidad de la variable dimensionamos la variable en las propiedades, costos y tiempos del concreto. Siendo esta variable de tipo cualitativa.
- Variables dependientes:
  - Revenimiento del concreto: Se obtuvo midiendo el asentamiento en el estado fresco del concreto. Siendo la variable de tipo cuantitativa.
  - Resistencia a la compresión del concreto: Se obtuvo a través de informes de rotura a compresión del concreto endurecido. Siendo esta variable de tipo cuantitativa.
  - Resistencia a la flexión del concreto: Se obtuvo a través de informes de rotura a flexión del concreto endurecido. Siendo esta variable de tipo cuantitativa.
  - Costos de losa: Se obtuvo a través del reconocimiento de las actividades desarrolladas y los precios unitarios (mano de obra, materiales, equipos y herramientas) obtenidos a del expediente técnico, revistas Capeco y Costos. Siendo esta variable de tipo cuantitativa.
  - Tiempos de ejecución: Se obtuvo a través del cronograma de las actividades, registro de los tiempos reales de la ejecución de actividades, y de rendimientos del expediente técnico. Siendo esta variable de tipo cuantitativa.

### 3.3.7 Operacionalización de variables

VARIABLE	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	NIVEL	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Calificación de las propiedades del concreto con fibras de acero FF1	Las losas industriales, son técnicamente las apoyadas sobre el suelo, tradicionalmente son diseñadas para efectos de retracción y temperatura, y adicionalmente pueden ser reforzadas para la flexión. La fibra de acero puede ofrecer un mayor nivel de esfuerzo resistentes (Maccafferri, 2007).	Losas industriales de concreto con fibras de acero FF1.	- Informe de propiedades mecánicas del concreto - Costos de losa de concreto con fibras - Tiempos de ejecución de losa de concreto con fibras	Expediente técnico NTP 339.034 (2015) NTP 339.079 (2012) Norma ASTM C143/143M10
Revenimiento del concreto	Las propiedades del concreto son sus características o cualidades básicas. Las tres propiedades principales del concreto son: trabajabilidad, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión (IMCYC, 2014).	Propiedades mecánicas	- Protocolo de asentamiento	Norma ASTM C143/143M10
Resistencia a la compresión del concreto	Las tres propiedades principales del concreto son: trabajabilidad, resistencia a la flexión y resistencia a la compresión (IMCYC, 2014).	Propiedades mecánicas	- Ensayo de resistencia a la compresión del concreto	NTP 339.034 (2015)
Resistencia a la flexión del concreto			- Ensayo de resistencia a la flexión del concreto	NTP 339.079 (2012) EN 14651:2005
Costos de losas de concreto	Los costos directos de construcción incluyen, mano de obra, materia prima, consumibles, materiales y todos los equipos, maquinarias y herramientas necesarios para procesarlos y transformarlos en el producto final (Costos, 2022).	Costos	- Presupuesto de obra  - Análisis de costos unitarios	Expediente técnico  Revista Capeco (May, 2020) Revista de Costos (May, 2020) FTCCP (2020 - 2021)
Tiempos de ejecución de losas de concreto	Existen muchos factores que pueden afectar los tiempos de ejecución en una obra, algunos son internos y otros externos, pueden ser condiciones laborales u otros (Daniel, 2020).	Tiempos	- Cronograma de obra - Rendimientos	Expediente técnico



### **3.3.8 Técnicas de recolección de datos**

“Las técnicas de recolección de datos pueden ser múltiples, por ejemplo, en la investigación cuantitativa: cuestionarios cerrados, registros de datos estadísticos, pruebas estandarizadas, sistemas de mediciones, aparatos de precisión, etc.” (Hernández & Mendoza, 2018, p. 14).

Otra forma de recogida de datos es la observación, que es un método observación sistemática de cualquier evento o circunstancia que ocurre en el mundo natural o en la sociedad de acuerdo con los fines de investigación preestablecidos (Arias, 2016, p. 69).

Para recopilar los datos de la presente investigación se llevó a cabo la observación experimental. También se documentaron todas las respuestas de ensayos y protocolos que se llevaron a cabo durante el periodo de la investigación.

### **3.3.9 Instrumentos de recolección de datos**

Las herramientas para la recogida de datos son muchas formas de obtener, registrar o almacenar información, como lo afirma Arias (2016). Cuando se realiza una observación no estructurada, se utilizan herramientas como un cuaderno, una cámara de foto o de vídeo; sin embargo, cuando se lleva a cabo una observación estructurada, se utilizan herramientas como una lista de frecuencias y una escala de estimación. (p. 67).

Los instrumentos para el estudio fueron: los protocolos de registro, los certificados de ensayos de los laboratorios de la UNI (Universidad Nacional de Ingeniería) y de la PUCP (Pontificia Universidad Católica del Perú).

## **3.4 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA**

La investigación se realizó básicamente en tres apartados principales: el primer apartado consistió en el levantamiento de información y revisión bibliográfica; en el segundo apartado se ejecutaron los ensayos de laboratorio y el desarrollo de la aplicación de los métodos para diseñar las losas de concreto con acero tradicional y con fibras FF1;



y en la última etapa se expuso y discutieron los resultados conseguidos con los métodos aplicados.

A continuación, se detallan los apartados de la investigación:

1) Primer apartado: levantamiento de información y revisión bibliográfica.

- Se realizó la revisión bibliográfica en tesis realizadas en un alcance de diez años anteriores a esta, junto a publicaciones de artículos de instituciones reconocidas a nivel nacional e internacional, como “Design of Slabs-on-Ground” publicado por ACI Committee 360 (2010), “Manual de diseño de pisos industriales” publicado por Salsilli (2013) junto al Instituto del Cemento y del hormigón de Chile, y “Structural behaviour and deformation patterns in loaded plain concrete ground-supported slabs”, publicado por Structural Concrete, (2014) entre otros artículos e investigaciones.

2) Segundo apartado: diseño de losas industriales por ambos métodos.

- Se realizó la aplicación de los procedimientos considerados en la norma ACI360R-10: el método del PCA, COE y WRI para el diseño de la losa de concreto con armadura tradicional y por otro lado se aplicó el reporte técnico británico TR-34 para diseñar la losa de concreto con fibras FF1 de acero.
- En ese mismo contexto se realizó la comparativa de costos entre ambos diseños, basados en los análisis de costos unitarios tomados de la revista Capeco, Costos, y del expediente técnico, según las partidas de cada presupuesto de losa de concreto.
- Asimismo, se realizó la comparativa del tiempo de ejecución de una losa industrial de concreto con acero tradicional versus el tiempo de ejecución





de una losa de industria de concreto con fibras FF1 de acero, basados en rendimientos reales del proyecto ejecutado, como en rendimientos históricos registrados en publicaciones oficiales como Capeco.

- Para la verificación y validación del diseño manual para a losa con fibras de acero fue utilizado el software Pave 2008.

### 3) Tercer apartado: exposición y discusión de resultados.

- Se procedió a la exposición de los resultados de las propiedades mecánicas, costos y tiempos de ejecución de los dos diseños de losas de concreto, con acero tradicional y con fibras de acero FF1, tras ello se realizó la discusión y presentación de conclusiones, (se incluyó la verificación del cumplimiento de objetivos y verificación de la hipótesis general).

### 4) Fuentes bibliográficas, para esta investigación se utilizaron las siguientes:

- Repositorio institucional digital de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA).
- Base de datos UNA Facultad de Ingeniería Civil: Tesis de pregrado.
- Repositorio académico UPC.
- Repositorio institucional de la PUCP.
- Norma ACI360R-10, Reporte técnico TR-34.

## 3.5 DISEÑO DE LOSAS INDUSTRIALES

### 3.5.1 Memoria descriptiva

#### A. Generalidades del proyecto

El proyecto “Mantenimiento y reparación de pavimento del almacén Impala Callao 2020” incluyó las partidas, pero no se limitaron a lo siguiente:

- Movilización, instalación de facilidades y desmovilización.



- Demoliciones y desmontajes.
- Excavaciones y eliminación de materiales procedentes de la excavación.
- Construcción de pavimentos de acuerdo con lo indicado en los planos de ingeniería.
- Sellado de juntas en pavimentos existentes.
- Aseguramiento y control de calidad.

#### B. Topografía

El Topógrafo realizó sus labores de control mediante el emplantillado, el cual se realizó cuantas veces sea necesario y por etapas según el proceso constructivo. Para el caso del empalme de niveles de las nuevas losas con las existentes se coordinó anticipadamente con la Supervisión Impala.

Cada protocolo topográfico llevó consigo esquemas (mapeos) donde se consideró toda la información necesaria para la liberación, asimismo se indicaron los planos de referencia y revisiones.

#### C. Demoliciones

Con el área de trabajo delimitada y cortada según trazo, se continuó la demolición. Se revisaron periódicamente las áreas en demolición afín de detectar interferencias ocultas (tuberías, cableado, etc.) y de encontrar alguna se comunicó inmediatamente al Supervisor de Impala. Todos los acopios de material demolido (desmonte) se realizaron de manera temporal en áreas aprobadas y autorizadas por la Supervisión Impala hasta su eliminación definitiva hacia botaderos autorizados.

#### D. Excavaciones

Se dejó puntos de control a través de plantillas en el área de trabajo. En estos puntos de control se dejó indicado las cotas existentes y la profundidad de excavación para llegar al nivel de la subrasante. Se verificó en todos los puntos que el suelo era



expansivo ( $IP < 10$ ), por el cual se procedió a reemplazar dichos suelos por un mejoramiento de suelos de over.

Todas las excavaciones se ajustaron a los límites, rasantes, secciones y elevaciones especificados en los planos de diseño.

#### E. Nivelación y compactación de la subrasante

El suelo natural en el fondo de la excavación fue compactado al 95% de la Densidad Máxima Seca. Las superficies del terreno existente que vayan a recibir relleno se escarificaron a una profundidad de 1.05 m, según se requirió para mejorar la adherencia y remover el material inadecuado para el relleno, como cualquier material suelto y/o blando.

#### F. Mejoramiento de terreno natural con over

El tamaño del over/roca considerada fue no menor o igual a 30 cm de diámetro nominal. Con el mejoramiento con over/roca se cubrió el nivel freático y se obtuvo una capa estable.

La disposición del enrocado dentro de la zona excavada se realizó por capas de tal forma que primero se disponga el over/roca de mayor tamaño y luego cubrir los espacios vacíos con las rocas de menor tamaño afín de conformar una plataforma homogénea. La compactación se realizó hasta que la capa de over/roca deje de hundirse y se tenga una plataforma estable.

Culminado los trabajos de mejoramiento del terreno de fundación con el relleno de over/ roca, se instaló geotextil no tejido y sobre ello se conformó una capa de relleno con material de subrasante con un mínimo de 30 cm.

#### G. Subbase Granular

Material de Subbase granular: CBR min = 60%, grado de compactación 95% del ensayo proctor modificado.

Los requisitos indicados en la norma EG2000 se cumplieron con los materiales utilizados para la subbase granular, ajustándose a la gradación granulométrica y los ensayos indicados en las siguientes tablas:

**Tabla 13:**

*Requerimiento granulométrico - subbase granular.*

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (Nº 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (Nº 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (Nº 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (Nº 200)	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 – 15

*Nota:* Tomado de expediente técnico.

**Tabla 14:**

*Requerimiento de ensayos especiales - subbase granular.*

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx	50 % máx
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín	40 % mín
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx	25% máx
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 89	6% máx	4% máx
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín	35% mín
Sales Solubles	MTC E 219			1% máx.	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas (2)	MTC E 211	D 4791		20% máx	20% máx

*Nota:* Tomado de expediente técnico.

## H. Sistema de geocelda geoweb

La geocelda que se utilizó como refuerzo del suelo era de polietileno de alta densidad con bandas extruidas. Tenía un espesor de 1.52 mm, lo que incluía los relieves y perforaciones de la superficie, así como las características que se indican a continuación.

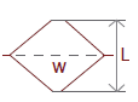
El material de base granular para relleno de geocelda, tuvo un CBR min = 100%, grado de compactación 100% del ensayo Proctor.

**Figura 21:**

*Especificaciones técnicas de geocelda.*

PROPIEDADES FISICAS	NORMA	UNIDAD	VALOR
Densidad mínima de Polímero	ASTM D 1505	gr/cm <sup>3</sup>	0.940 – 0.960
Estabilizador Negro de Carbón	ASTM D1603	% en Peso	2%
Resistencia al agrietamiento por exposición al Medio Ambiente	ASTM D1693	hrs.	3000 (mínimo)
Espesor de la faja de la celda perforada y texturizada	ASTM D5199	mm	1.7 ± 1%
Tipo de soldadura	Medido	Pulgada	Ultrasónica 09 puntos por pulgada

Altura de la Geocelda	mm	150
Resistencia de la soldadura (USACE – GL-86-19, Appendix A)	N	2130

CARACTERISTICAS	UNIDAD	GCC-M450P
Serie de Celda		
Dimensión de la Celda expandida (W x L)		 326 x 290
Ancho de la sección expandida	m	2.6
Largo de la sección expandida	m	5.25
N° de celdas por sección (W x L)	-	8 x 18
Área de la sección expandida	m <sup>2</sup>	13.65



*Nota:* Tomado de expediente técnico.

### I. Proceso Constructivo

Se verificó que la superficie de trabajo se encuentre nivelada y debidamente compactada, se colocó la sección de geocelda y se extendió en la posición que le corresponde, se fijaron estas mediante grapas galvanizadas de ½”.

El material de relleno se colocó dentro de las celdas estiradas y se llenó en exceso por encima de las celdas antes de compactar. Culminada la colocación de material y asegurando la humedad de este, se procedió a compactar hasta lograr el 100% de la máxima densidad seca. El espesor del material de relleno compactado fue de 15 cm, mismo espesor de la geocelda.

### J. Geotextil no tejido

Se desenrolló y ubicó el geotextil no tejido de separación, jalándolo de tal forma que se mantenga templada y libre de pliegues y arrugas, previo a la colocación del relleno. Se consideró traslapes no menores a 30 cm entre rollos de geotextil.

K. Pavimento rígido  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  a los 7 días.

El pavimento contempló las siguientes características de acuerdo con el diseño de mezclas, Anexo 5.

- Resistencia a la compresión  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  a los 7 días
- Relación  $w/c = 0.5$
- Slump de 4"-6"
- Tipo de cemento V o HS
- Tamaño máximo del agregado 1"
- Fibras wirand FF1 (dosificación  $25 \text{ kg/m}^3$ )

### 3.5.2 Solicitaciones

Para el diseño de la losa industrial previamente se listan las solicitaciones que se tomaron en cuenta de la estructura de la losa, del concreto de la losa y de las cargas a las que estuvieron sometidos.

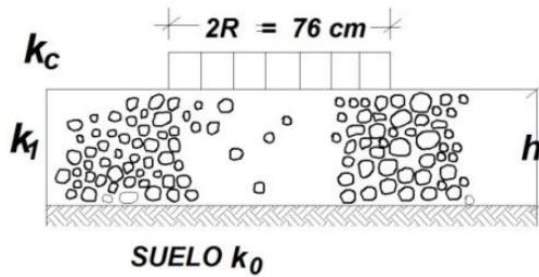
#### 3.5.2.1 De la estructura que soporta la losa industrial

Con el estudio de suelos que ya contaba Impala en el proyecto (anexo 6), se procedió a calcular el módulo de reacción combinado ( $K_c$ ), módulo con el que se realizaron los diseños de las losas de concreto con acero tradicional y con fibras FF1 en los siguientes capítulos.

Asimismo, la capacidad de aumentar el coeficiente de reacción de diseño es posible gracias a la subbase granular o base granular de calidad mejor que la subrasante (MTC, 2014, p. 217), en tal sentido se aplicó la ecuación de la figura 22.

**Figura 22:**

*Fórmula del coeficiente de reacción combinado.*



$$K_c = [1 + (h/38)^2 \times (K_1/K_0)^{2/3}]^{0.5} \times K_0$$

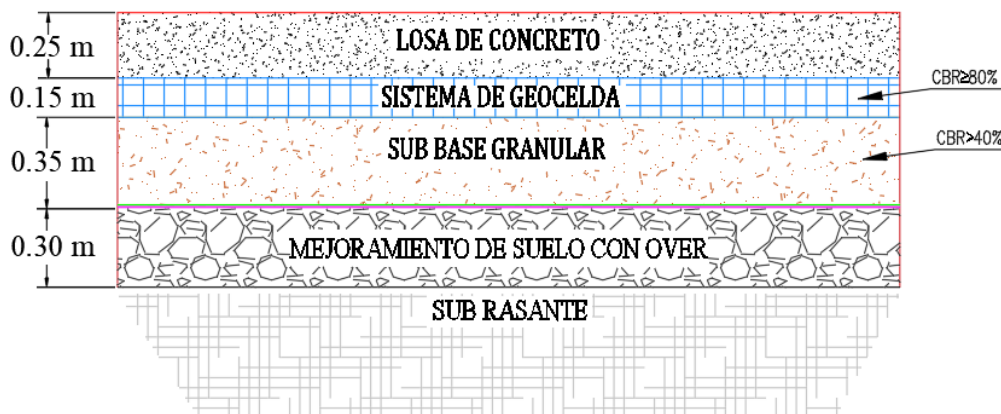
Nota: Tomado del MTC (2014).

Donde:

$h$  : Altura de la capa de subbase granular.

**Figura 23:**

*Espesores de la estructura de la losa industrial.*



Nota: Tomado del expediente técnico.

Con los datos de los espesores y los CBR de las capas de la estructura de la losa se procedió a aplicar la siguiente ecuación:

$$K_c = [1 + (h/38)^2 \times (K_1/K_0)^{2/3}]^{0.5} \times K_0 \quad (23)$$

Datos para el cálculo:

- CBR base = 80% = 19.76 kg/cm<sup>3</sup>
- CBR subbase = 40% = 11.52 kg/cm<sup>3</sup>
- CBR subrasante = 6.1% = 2.66 kg/cm<sup>3</sup>

Para la determinación del  $K_c$  entre la subbase y la subrasante, y con la aplicación de la ecuación 23, el coeficiente de reacción combinado entre la subbase y la subrasante resulta de 12.07 %, siendo igual a  $0.0470 \text{ N/mm}^3$ .

Para la determinación del  $K_c$  entre la base y la subbase, resulta 16.11 %, siendo igual a  $0.0556 \text{ N/mm}^3$ .

Por tanto, para los diseños de las losas industriales en esta investigación se deberá usar  $k = 0.0556 \text{ N/mm}^3$  lo que asegura que el comportamiento de la estructura de la losa industrial no presente fallas.

### 3.5.2.2 Del concreto de la losa industrial

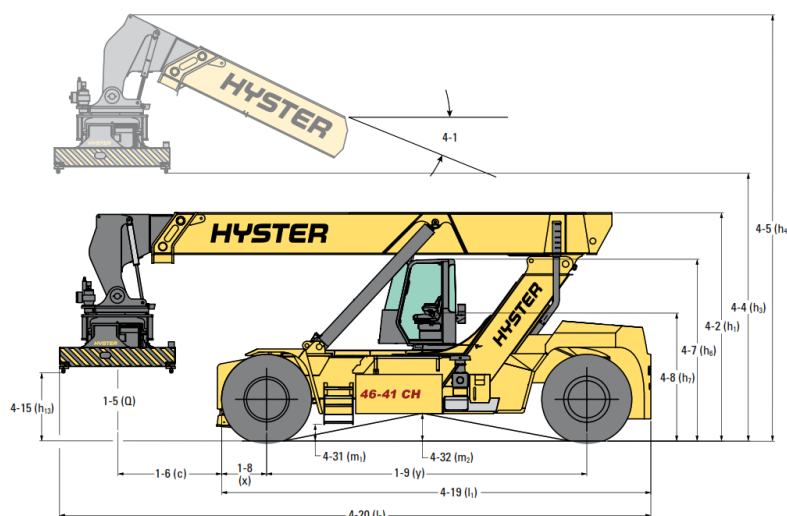
- Resistencia a la compresión  $f'_c = 40 \text{ Mpa}$ , siendo liberado con el  $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$  a los 7 días.
- Módulo de rotura =  $4.5 \text{ Mpa}$
- Resistencia a la tracción por flexión =  $640 \text{ psi}$  (ensayo en laboratorio, viga sin fibra =  $4.3 \text{ Mpa}$ )

### 3.5.2.3 De las cargas que soportaron la losa industrial

a. Datos del Stacker:

**Figura 24:**

*Dimensiones del Stacker RS46-41S CH.*



*Nota:* Tomado de RS46 Series technical guide, Hyster (2017).





Para el diseño de la losa industrial en el área de aduanas del depósito de concentrados de minerales del Callao se usará el equipo pesado “Stacker modelo RS46-41S CH”.

Contiene las siguientes características:

- Carga del eje trasero: 38700 kg = 379.52 kN = 85.3 Kips.
- Carga del eje delantero: 44900 kg = 440.32 kN = 99.0 Kips.
- Peso total: 83600 kg = 819.84 kN
- Espacio entre ruedas traseras: 100 in
- Numero de ruedas por eje trasero: 2
- Número de ruedas por eje delantero: 4
- Espaciamiento entre ruedas del eje delantero: 27 in x 91 in x 27 in
- Longitud hasta el extremo del stacker: 8650 mm
- Espaciamiento entre ejes: 6200 mm
- Anchura de la rueda: 20 in
- Tipo de rueda delantera y trasera: 18.00-33 36PR
- Presión de inflado del neumático: 145 psi
- Área de contacto del neumático: carga por rueda/ presión de inflado

$$\frac{\text{carga por rueda trasera}}{\text{presión de inflado}} = \frac{38\,700/2}{145} = 133 \text{ in}^2$$

$$\frac{\text{carga por rueda delantera}}{\text{presión de inflado}} = \frac{44\,900/4}{145} = 77 \text{ in}^2$$

b. Datos de carga concentrada en el patio:

- Peso específico de concentrados de material de Plomo = 31.7 kN/m<sup>3</sup>
- Peso específico de concentrados de material del Zinc = 21.4 kN/m<sup>3</sup>
- Peso específico de concentrados de material del Cobre = 19.4 kN/m<sup>3</sup>

### 3.5.3 Diseño de losa de concreto con acero tradicional

Se utilizaron los métodos recomendados por Salsilli (2013) para diseñar el concreto industrial con acero tradicional, siendo estos los métodos que contiene la norma americana ACI360R-10, y son detallados en las secciones subsecuentes.

#### 3.5.3.1 Métodos que contiene la norma americana ACI360R-10

##### 3.5.3.1.1. Método del PCA

###### *a. Cargas vehiculares*

Para diseñar la losa a través del método PCA se toma en cuenta la carga vehicular del stacker, para esto se asumió la situación crítica, que sucede cuando el stacker se encuentra cargado de un contenedor y se encuentra en estado estático.

- En el diseño de la carga en eje con rueda simple se tomaron los siguientes parámetros:
  - Fuerza de eje simple = 85.3 kips
  - Superficie de contacto efectiva de un neumático = 133 in<sup>2</sup>
  - Espacio entre neumáticos = 100 in
  - Coeficiente de respuesta de la subrasante = 200 pci
  - Resistencia a la tracción por flexión = 640 psi
  - Factor general de seguridad adoptado = 1.7
  - Tensión admisible

$$\text{Tensión admisible} \frac{640 \text{ psi}}{1.7} = 376.47 \text{ psi}$$

- Para la tensión de 1000 libras tendremos que es igual a la tensión admisible dividida entre la carga de eje simple.

$$\text{Tensión de 1000 lb} = \frac{376.47}{85.3} = 4.4 \text{ psi}$$



El espesor de la losa es de 10 pulgadas, se obtuvo da con el monograma de la figura 5. Usa la curva de la superficie de contacto efectiva del neumático y el valor del espacio entre ruedas para interceptar, direccionándolo a la ordenada del coeficiente de respuesta de la subrasante.

- En el diseño de la carga en eje con rueda doble se toman los siguientes parámetros:
  - Carga de eje doble = 99 kips
  - Espacio entre ruedas = 28 in x 91 in x 28 in
  - Superficie de contacto efectiva de un neumático = 77 in<sup>2</sup>
  - Coeficiente de respuesta de la subrasante = 200 pci
  - Resistencia a la tracción por flexión = 640 psi
  - Factor general de seguridad = 2
  - Tensión admisible =  $\frac{640 \text{ psi}}{2} = 320 \text{ psi}$

En el monograma de la figura 6, con un espaciamiento de 28 in, área efectiva de 77 in<sup>2</sup>, y espesor inicial de losa de 10 pulgadas se obtuvo un factor de carga equivalente de 0.68.

Es decir, la equivalencia resulta = 0.68 x 99 kips = 67 kips

Donde la:

$$\text{Tensión de } 1000 \text{ lb} = \frac{320}{67} = 4.78 \text{ psi}$$

Usando nuevamente el monograma de la figura 5, con la tensión de 4.78 psi, a la derecha con la superficie efectiva de contacto de 77 in<sup>2</sup>, espacio de 91 in, usando el coeficiente de respuesta de la subrasante de 200 pci, resulta la losa con un ancho de 9.5 pulgadas.

*b. Cargas por estanterías (concentrados de minerales)*

Para diseñar el ancho de la losa como resultado de la carga de soporte de estantería se tomaron los siguientes parámetros:

- Carga de pila = 50 kips (tres contenedores de concentrado de cobre por pila)
- Superficie de contacto de la placa =  $41 \text{ in}^2$  ( $175 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ )
- Mayor aplazamiento en la dirección Y = 100 in
- Menor aplazamiento en la dirección X = 40 in
- $f_{ctd,fl} = 640 \text{ psi}$
- $k = 200 \text{ pci}$
- $F_s = 1.4$
- Tensión admisible =  $\frac{640 \text{ psi}}{1.4} = 457 \text{ psi}$

$$\text{Tensión de } 1000 \text{ lb} = \frac{457}{50} = 10 \text{ psi}$$

Con el monograma de la figura 9, para el coeficiente de respuesta de la subrasante de 200 pci, con tensión por 1000 libras de 10 psi, y área de contacto de carga de  $41 \text{ in}^2$ , espacio en el eje “y” de 100 in y en el eje “x” de 20 in, se obtuvo un espesor de losa de 10 pulgadas.

**3.5.3.1.2. Método del cuerpo de ingenieros (COE)**

De acuerdo con las sollicitaciones tanto en cargas como en características mecánicas de la losa, la escala de clasificación de indicador de diseño al que pertenece el vehículo Stacker RS46 – 41SCH, es al tipo VI (tabla 3, ver página 47).

Para el uso del monograma de la figura 10, las siguientes son las variables requeridas para el diseño:

- $E_{cm} = 35520 \text{ Mpa}$
- $k = 200 \text{ pci}$  ( $55.05 \text{ Mpa/m}$ )



$$- f_{ctd,fl} = 640 \text{ psi}$$

Por tanto, con la aplicación del monograma, el resultado del espesor de la losa con acero tradicional es de 10 pulgadas.

### 3.5.3.1.3. Método WRI

Para el diseño de la losa con el método planteado por el ACI360R-10, se toman los siguientes parámetros:

$$- E_{cm} = 35520 \text{ Mpa} = 5167 \text{ ksi.}$$

$$- k = 200 \text{ pci}$$

$$- h = 10 \text{ pulgadas}$$

Con el monograma de la figura 11, se obtiene una rigidez relativa de  $D/K = 26 \times 10^5 \text{ in}^4$ , posterior a este resultado se usa el monograma de la figura 12, donde los datos de ingreso son:

$$- \text{Superficie de contacto del neumático} = 133 \text{ in}^2$$

$$- \text{Diámetro del círculo equivalente} = 13 \text{ in}$$

$$- \text{Espacio entre ruedas} = 100 \text{ in}$$

Con uso del monograma grande la figura 12 se obtuvo que el momento de flexión básico es de 250 in-lb/in, y para el momento adicional debido a l neumático se usó el monograma pequeño de la figura 12, para este caso resultó un valor de 3 in-lb/in de ancho/kip.

Por tanto:

$$\text{Momento} = 250 + 3 = 253 \text{ in-lb/in/kip}$$

Se prosiguió con el uso del monograma de la figura 13, donde se colocaron los siguientes datos:

$$- \text{Carga del eje} = 85.32 \text{ kips}$$

$$- \text{Carga de neumático} = 42.66 \text{ kips}$$



- Momento de diseño resultante =  $254 \times 42.66 = 10000 \text{ ft-lb/ft}$

- Tensión de tracción admisible = 320 psi

Entonces del monograma finalmente como resultado se obtuvo que la losa tiene un espesor de 9 pulgadas, siendo una losa con acero tradicional.

### 3.5.3.2 Determinación de acero

Según las cargas a la que se sometió la losa industrial y las respectivas evaluaciones, del diseño con la norma ACI360R-10 se obtuvo una losa con un espesor de 10 pulgadas, para el cual a continuación con la ecuación 1 se procede a determinar el acero mínimo por 1 metro de ancho de losa, considerando los siguientes datos:

- $L = 5.0 \text{ m}$
- $F = 1.5$  para piso sobre terreno
- $w = 2400 \text{ kg/m}^3$
- $h = 250 \text{ mm}$
- $f_s = 24656.4 \text{ psi}$

Donde:

$$A_s = \frac{5 \times 1.5 \times 12.5 \times 250}{2 \times 24656.4}$$

$$A_s = 1.34 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Según la NS10 y ACI360R-10 el acero mínimo para la losa diseñada será:

$$A_{s_{\text{mín}}} = 0.0018 \times 25 \times 100$$

$$A_{s_{\text{mín}}} = 4.5 \text{ cm}^2$$

De acuerdo con el cálculo del acero mínimo, la distribución del acero corrugado será el siguiente: acero corrugado  $f'y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\emptyset 1/2" @ 0.30 \text{ m}$ , cubriéndose de esta manera el acero mínimo solicitado. A partir de este diseño se obtuvieron los planos de las losas con acero tradicional.

En resumen, utilizando los métodos incluidos en la norma americana ACI360R-10, se determinó que el ancho de losa industrial de concreto con acero tradicional es de 10 pulgadas y la distribución de acero será con acero corrugado  $f'y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\varnothing 1/2" @ 0.30 \text{ m}$ .

### 3.5.4 Diseño de losa de concreto con fibras de acero FF1

Para diseñar la losa industrial de concreto con fibras FF1 de acero se usó el método recomendado por Salsilli (2013) y Society (2016), el método con el reporte técnico británico TR-34 y es desarrollado a continuación:

#### 3.5.4.1 Método con el reporte técnico británico TR-34.

El diseño para la losa industrial de concreto con fibras FF1 de acero fue con una dosificación de 25 kg por metro cúbico de concreto, a continuación, se presentan los demás datos de entrada:

- $h_{\text{asum}} = 250 \text{ mm}$
- $f_{\text{ck}} = 40 \text{ Mpa}$
- $f_{\text{cu}} = 50 \text{ Mpa}$
- $\gamma_m = 1.5$
- $K = 0.0556 \frac{\text{N}}{\text{mm}^3}$
- $v = 0.20$
- $E_{\text{cm}} = 35520 \text{ Mpa}$
- $R_{e,3} = 57 \%$ , de la tabla 15.

#### Tabla 15:

*Tabla de dosificación de fibra wirand FF1 según su resistencia equivalente.*

Dosificación de fibra	$R_{e,3}$ (%)
20 Kg/m <sup>3</sup>	48
25 Kg/m <sup>3</sup>	57

*Nota:* Tomado de Macafferri.



a) Se usaron las ecuaciones descritas en el procedimiento de diseño del método con el reporte técnico británico TR-34 del subcapítulo 2.2.7 de la revisión literaria de esta investigación (ver página 51), donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- $f_{ctm} = 3.5 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ctk(0.05)} = 2.45 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- $f_{ctk,fl} = 4.64 \text{ N/mm}^2 \leq 2f_{ctk(0.05)}$ , se obtuvo con la ecuación 4.
- $f_{ctd,fl} = 3.2 \text{ N/mm}^2$

b) Con la ecuación 5 de la rigidez relativa se obtiene que:

$$I = 1004.6 \text{ mm}$$

c) Se procede con el cálculo de las propiedades estructurales con la ecuación 6, donde, el cálculo de la capacidad de momento negativo resulta ser:

$$M_{un} = 33.3 \text{ kN. m/m}$$

d) A continuación, se calculan los momentos positivos que requiere el cálculo previo de los esfuerzos residuales, teniendo en cuenta la utilización de fibra FF1 con una dosis de  $25 \text{ kg/m}^3$ .

Esfuerzo residual  $CMOD_1$ , con el uso de la ecuación 4 se obtuvo:

$$\sigma_{r1} = 1.62 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo residual  $CMOD_4$ , con el uso de la ecuación 5 se obtuvo:

$$\sigma_{r4} = 0.85 \text{ Mpa}$$

Capacidad de la losa para momentos positivos, con la ecuación 9 se obtuvo:

$$M_{up} = 21.1 \text{ kN. m/m}$$

e) Prosiguiendo, se determina la capacidad de carga en 1 solo punto:

La carga puntual de diseño final  $P^* = 352 \text{ kN}$

$$d = 245 \text{ mm}$$





$$a = \sqrt{245^2/\pi} = 123.3 \text{ mm}$$

$$a/I = 123.3/1004.6 = 0.123$$

Para una carga interna:

$$a/I = 0:$$

$$P_{u,0} = 2\pi (30.4 + 21.1)$$

$$P_{u,0} = 341.8 \text{ KN}$$

$$a/I \geq 0.2:$$

$$P_{u,0.2} = 4\pi (33.3 + 21.1) / [1 - (123.3/3(1080.3))]$$

$$P_{u,0.2} = 712.8 \text{ kN}$$

$$a/I \geq 0.123:$$

$$P_{u,0.118} = 341.8 + [(712.8 - 341.8) \times 0.123/0.2]$$

$$P_{u,0.123} = 569.5 \text{ kN} > 352 \text{ kN}$$

Para una carga de borde:

$$a/I = 0:$$

$$P_{u,0} = [\pi(33.3 + 21.1)/2] + 2 * 21.1$$

$$P_{u,0} = 258.5 \text{ kN}$$

$$a/I \geq 0.2:$$

$$P_{u,0.2} = [\pi (33.3 + 21.1) + 4 * 21.1] / [1 - 2(110.9/3(1004.6))]$$

$$P_{u,0.2} = 559.7 \text{ kN}$$

$$a/I \geq 0.123:$$

$$P_{u,0.123} = 258.5 + [(559.7 - 258.5) \times 0.123/0.2]$$

$$P_{u,0.123} = 443.4 \text{ kN} > 352 \text{ kN}$$

f) Evaluación de punzonamiento para la losa de 250 mm

Datos de entrada:



- Carga de diseño de punto  $P^* = 352 \text{ kN}$
- Superficie de contacto con relación de rigidez  $a/I = 0.123$
- Esfuerzo de punzonamiento máximo  $V_{\text{máx}} = 6.7 \text{ Mpa}$
- Profundidad efectiva de la losa  $d^* = 0.75 \times 250 = 187.5 \text{ mm}$

- Evaluación en la losa interna

Para el cálculo del punzonamiento en la faz de la carga:  $d = 642 \text{ mm}$

Longitud del perímetro cargado:

$$u_0 = 4 \times 642 = 2567.2 \text{ mm}$$

Capacidad de carga de punzonamiento máxima, ecuación 16:

$$P_{p,\text{máx}} = 3225.0 \text{ kN}$$

Para el cálculo del punzonamiento en el perímetro crítico:

La resistencia mínima al corte por punzonamiento del concreto no reforzado, con uso de la ecuación 18 será:

$$V_{\text{Rd,c min}} = 0.63 \text{ Mpa}$$

Longitud del perímetro crítico en una distancia  $2d$  del área cargada

$$u_1 = 4\pi \times 187.5 + 4 \times 642$$

$$u_1 = 5962 \text{ mm}$$

Por tanto, la capacidad de carga de punzonamiento es calculado con la ecuación 17, resultando:

$$P_p = 694.8 \text{ kN} > P^* \text{ pasa}$$

- Evaluación en el borde

Longitud del perímetro de carga  $u_0 = 3 \times d$  (placa cuadrada)

$$u_0 = 3 \times 642 = 1925.4 \text{ mm}$$

Capacidad máxima de carga a falla por punzonamiento, ecuación 16:

$$P_{p,\text{máx}} = 2539.7 \text{ kN}$$



La resistencia mínima al corte por punzonamiento del concreto no reforzado resulta:

$$V_{Rd,c \min} = 0.63 \text{ Mpa}$$

Longitud de perímetro cargado a una distancia  $2d$  del área cargada

$$u_1 = 2\pi \times 187.5 + 3 \times 155$$

$$u_1 = 4648 \text{ mm}$$

Capacidad de carga a falla por punzonamiento (sin refuerzo)

$$P_p = 540.4 \text{ kN} > P^* \text{ pasa}$$

- Evaluación en la esquina

Longitud del perímetro de carga  $u_0 = 2 \times d$  (placa cuadrada)

$$u_0 = 2 \times 642 = 1283.6 \text{ mm}$$

Capacidad máxima de carga a falla por punzonamiento, aplicando la de ecuación 16 se obtiene:

$$P_{p,m\acute{a}x} = 2414.5 \text{ kN}$$

Resistencia mínima al corte por punzonamiento del concreto no reforzado:

$$V_{Rd,c \min} = 0.63 \text{ Mpa}$$

Longitud de perímetro cargado a una distancia  $2d$  del área cargada

$$u_1 = \pi \times 187.5 + 2 \times 1782$$

$$u_1 = 4123 \text{ mm}$$

Capacidad de carga a falla por punzonamiento (sin refuerzo)

$$P_p = 0.50 \times 4123 \times 187.5 \times 10^{-3}$$

$$P_p = 478.1 \text{ kN} > P^* \text{ pasa}$$

De esta manera, se culminó con las verificaciones por el estado límite último donde la capacidad a la flexión y a la cortante por punzonamiento resultaron ser mayores a la carga puntual final de 352 kN, con estos valores se comprobó que el ancho “h” de la

losa de 25 cm y la dosificación de 25 kg de fibra FF1 por metro cúbico para el concreto fue el diseño adecuado que cumple con todas las solicitaciones de la losa industrial en el depósito de concentrados Callao.

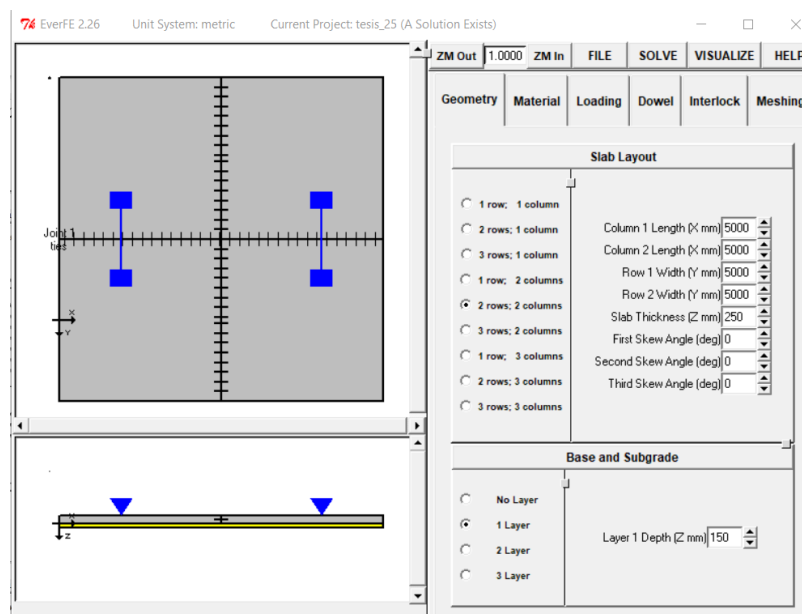
### 3.5.5 Aplicación del software EverFE 2.26, para la verificación del diseño de la losa de concreto sin fibra

Para la aplicación del software EverFE 2.26 se eligió la losa de tres paños de 5m x 5m, en el cual se aplicó la carga en la condición máximo de peso, siendo la carga del Stacker RS46-41SCH, al mismo tiempo se colocaron las solicitaciones de concreto, y subrasante para la losa industrial de concreto sin fibra, de esta manera se logró obtener las tensiones máximas y mínimas.

Los primeros datos de ingreso para el software EverFE 2.26 son de la geometría de la losa (espesor y distancia de juntas), posteriormente las características del concreto de la losa ( $f'c$ ,  $E_{cm}$ ,  $v$ ). Asimismo, fue necesario cargar los datos de la base sobre la que estaba apoyada la losa (espesor y coeficiente de reacción), como es mostrado en las figuras 25 y 26.

**Figura 25:**

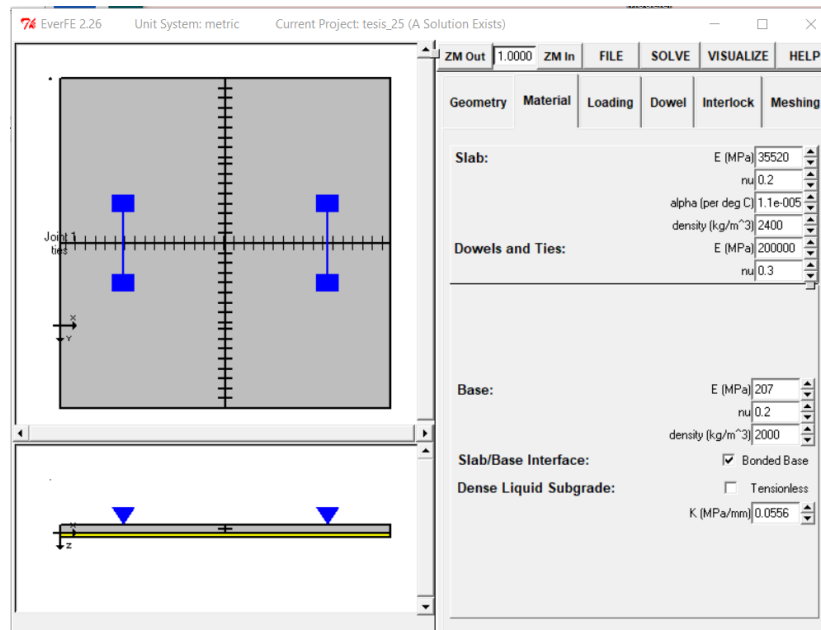
*Datos de entrada a EverFE 2.26 – geometría de la losa.*



*Nota: Se observa la simulación de un tramo de tres paños, de 5 m x 5 m cada uno.*

**Figura 26:**

*Datos de entrada a EverFE 2.26 – condiciones del material.*

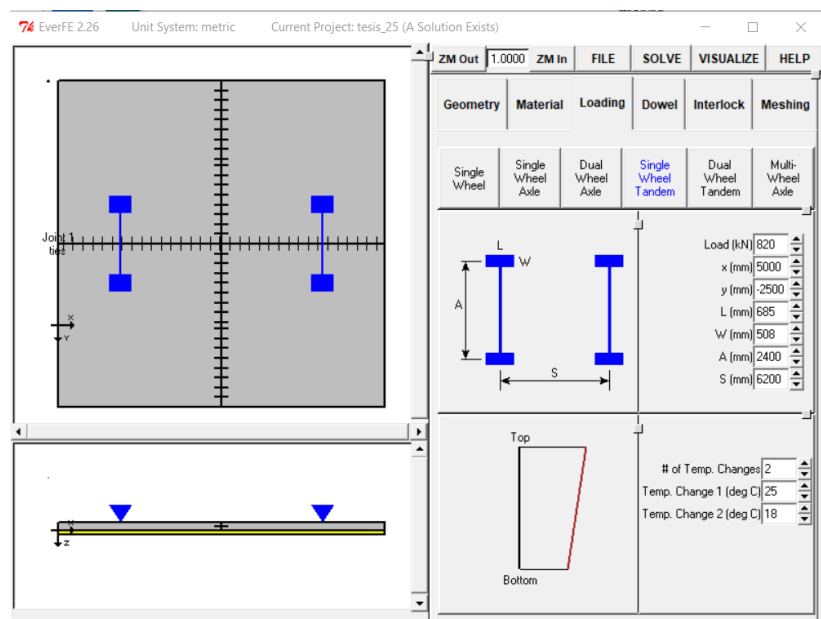


*Nota:* Para los datos de la subrasante, se ingresó el valor obtenido en la página 73 del módulo de reacción combinado, de 0.0556 N/mm<sup>3</sup>. Tomado de EverFE 2.26.

Posterior al ingreso de los datos de la geometría de la losa, se cargó las especificaciones de las cargas a las que estaba sometida la losa, en este caso fue el stacker *RS46-41SCH*. Para el stacker se ingresaron los datos de los pesos de las llantas, área de contacto y separaciones de ejes, como se ilustra en la figura 28.

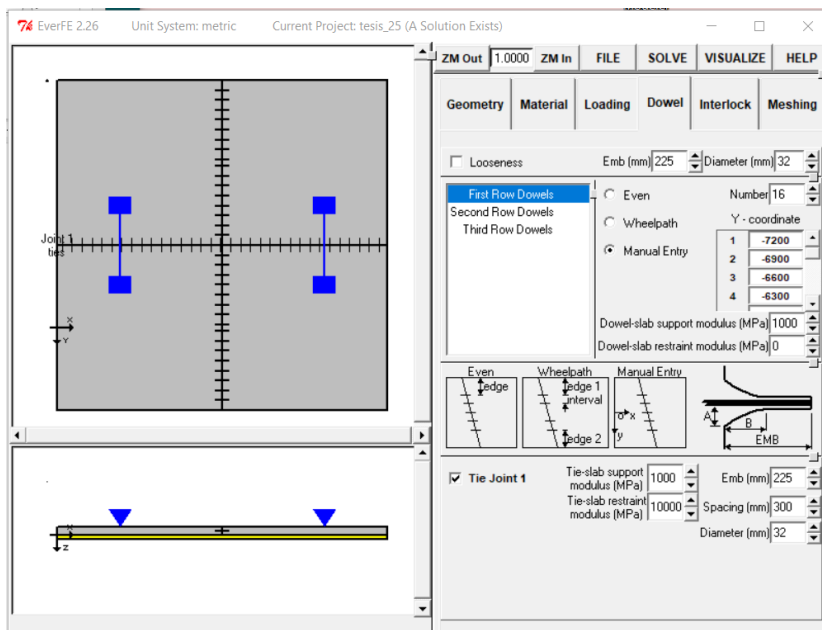
**Figura 27:**

*Datos de entrada a EverFE 2.26 – sollicitaciones de cargas.*



**Figura 28:**

*Datos de entrada a EverFE 2.26 – dowels en juntas.*

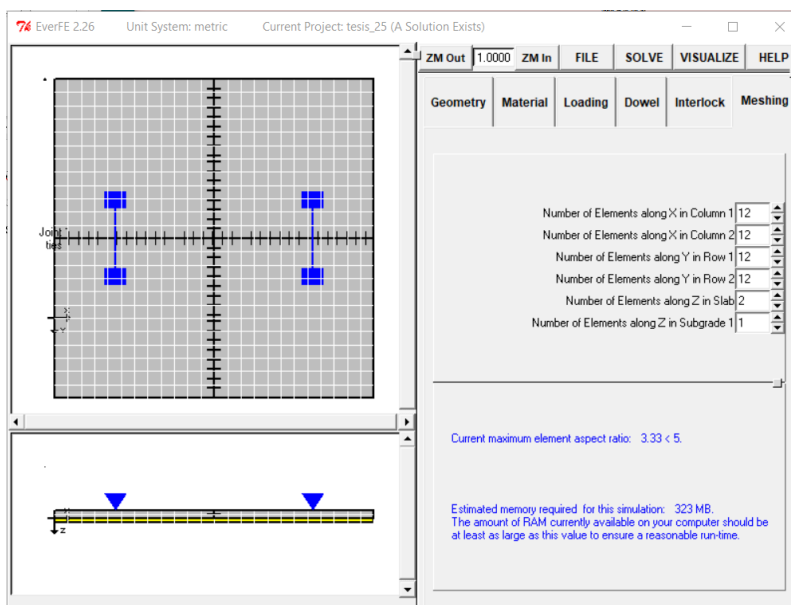


*Nota:* Para el ingreso de los dowels se consideró la norma de ACI360R-10 (2010), los dowels fueron de 32 mm de diámetro, de 45 cm de largo y a una separación de 0.30 m.

Continuamente se ingresaron al software la cantidad y separación de los dowels, así como también se definió un número de elementos horizontales y verticales para la malla de interpolación. En este caso fueron 12 los elementos horizontales y verticales por cada paño, a recomendación de Davids & Turkiyyah (2007).

**Figura 29:**

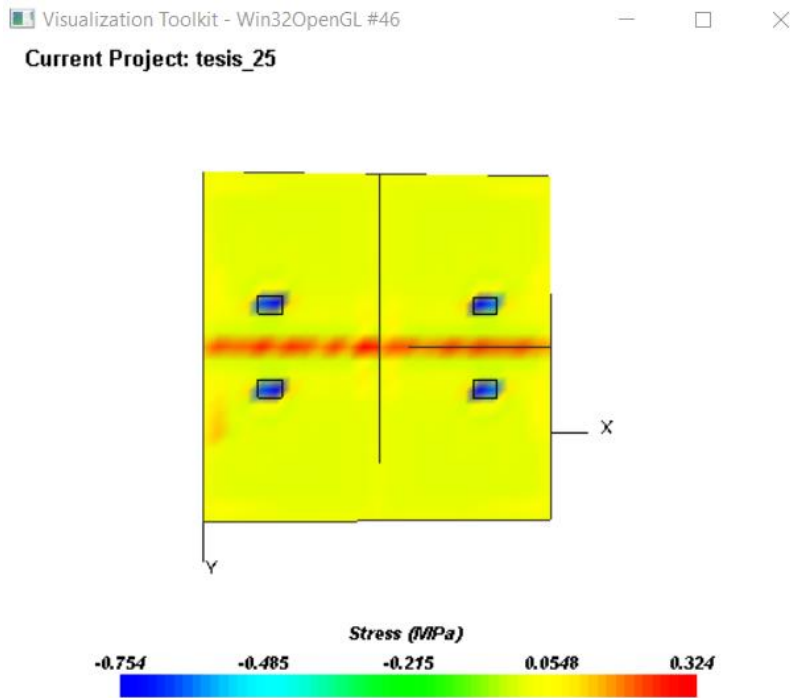
*Datos de entrada a EverFE 2.26 – datos de la malla de interpolación.*



Una vez culminado el ingreso de datos, se obtuvieron los resultados del software EverFE 2.26 sobre las tensiones y los desplazamientos en la losa diseñada, los cuales son mostrados en las siguientes figuras.

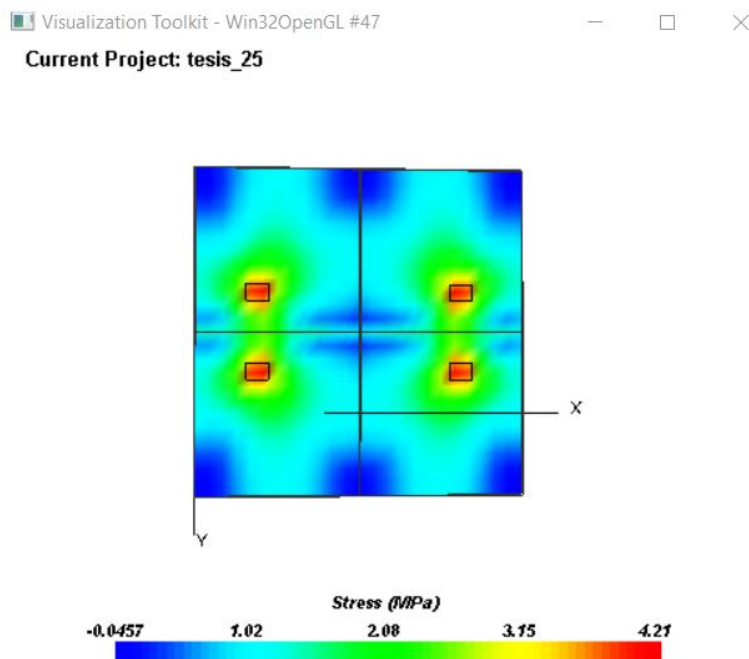
**Figura 30:**

*Resultado del diseño en EverFE 2.26 – tensiones en la superficie.*



**Figura 31:**

*Resultado del diseño en EverFE 2.26 – tensiones en la cara inferior.*

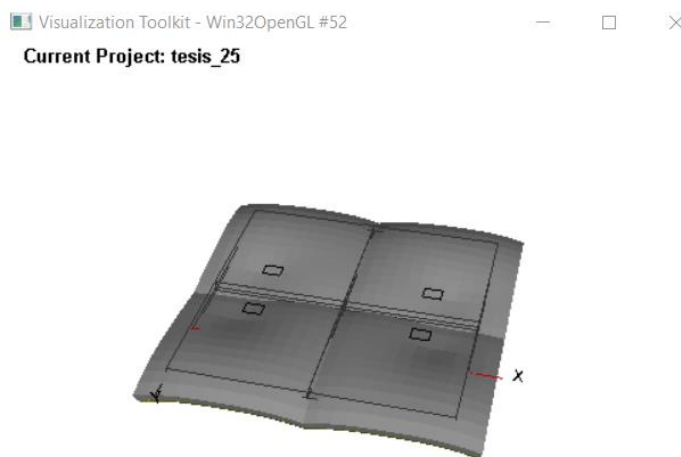


En la figura 30, se puede observar la tracción (rojo) de manera clara, en el eje central. También se aprecia la compresión (azul) causada por el peso de los neumáticos. En la figura 31 se observa el completo estado tensional de la capa debajo del pavimento, donde se verifica que la tracción es mayor a la cara superior.

A continuación, el software EverFE muestra las deformaciones de la losa. En la figura 32 se puede ver de manera amplia la deformación que tendrá la losa, donde se flecta para los cantos.

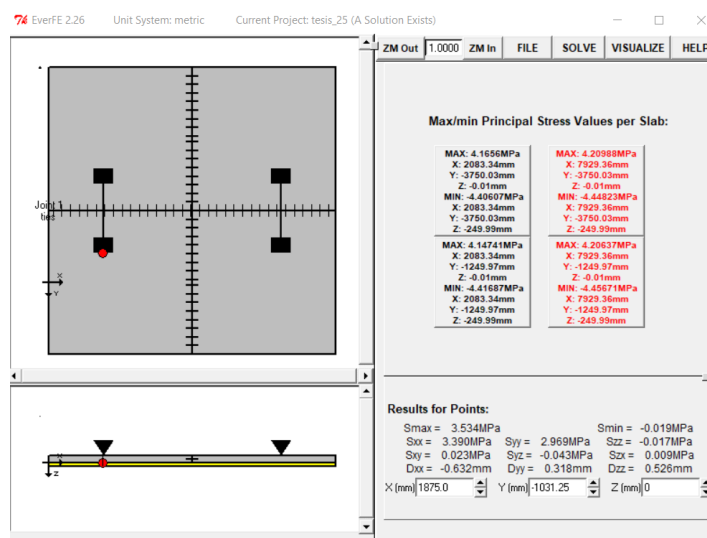
**Figura 32:**

*Resultado del diseño en EverFE 2.26 – desplazamientos.*



**Figura 33:**

*Resultado del diseño en EverFE 2.26 - valores máx. y mín. de tensión principal.*

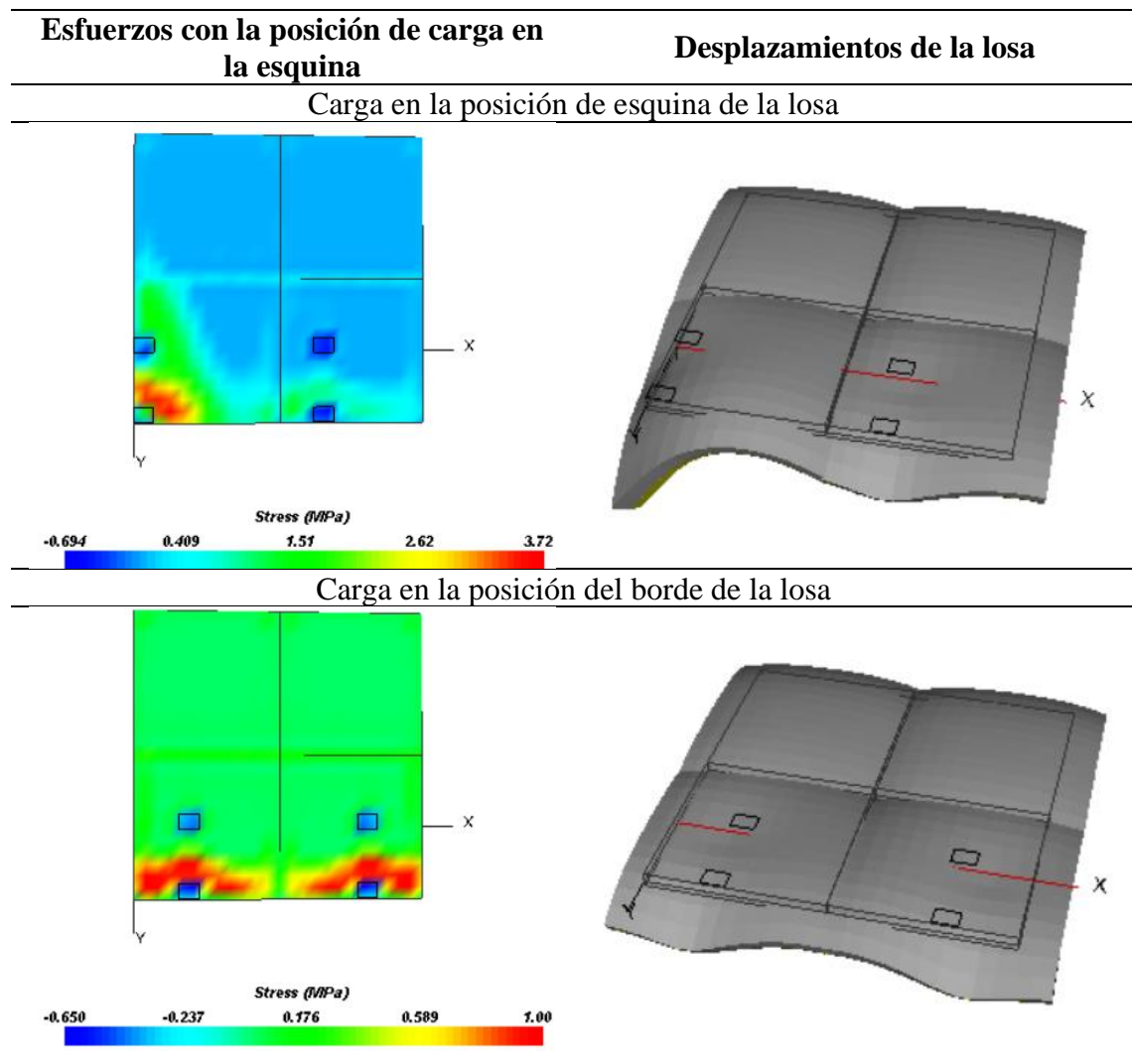




Como se resulta de la aplicación del software EverFE 2.26, en cada panel de los rectángulos de la figura 33, se observa la información de tensiones principales mínimas y máximas dependiendo de la ubicación. Se nota que cuando la carga está en la posición interna la deflexión máxima del concreto es de 0.526 mm, y la deflexión máxima de la subbase es de 0.489 mm. Es de este modo que se planteó diseñar la losa industrial para el depósito de concentrados de concreto con la incorporación de fibras FF1 de acero, el diseño fue verificado con el software Pave 2008.

**Tabla 16:**

*Esfuerzos y desplazamientos en posición de esquina y borde de carga.*



### 3.5.6 Aplicación del software Pave 2008, para la verificación del diseño del concreto con fibras de acero FF1.

La empresa Maccaferri ha desarrollado el software Pave 2008 para diseñar losas o calzadas de concreto, contiene tres metodologías: TR34/3, Westergaard y ACI360R-06. Para el uso del software debe utilizarse la información completa para el diseño, cuales son: propiedades de la subrasante y del concreto, cargas lineales, puntuales o distribuidas, el tipo de fibra y el espesor tentativo de losa.

En este estudio se tomó el software Pave 2008 para la comprobación y verificación del diseño manual realizado con el método TR-34 (ver página 88) para la losa industrial del depósito de concentrados Callao. Siendo así, para la verificación del diseño en el software se procedió primeramente a cargar los datos de entrada, estos fueron:  $h$  (25 cm),  $\nu$  (0.20),  $f'c$  (40 Mpa), y  $E_{cm}$  (35520 MPa) y la distancia entre juntas.

**Figura 34:**

*Datos de entrada a Pave 2008, información del sistema.*

Parámetro	Valor	Unidad
Espesor de la Losa (h)	250	mm
Clase del Concreto	C 40/50	
Módulo de Young (Ee)	35220	MPa
f'ck	40	MPa
fctm	4.64	MPa
fctk	50	MPa
Coeficiente de Poisson (nu)	0.20	
Factor de Encogimiento (Esh)	0.40	%
Área del Paño	25	m²
Gradiente de Temperatura (delta T)	5.00	°C
Coef. de Temperatura (alpha T)	0.000012	1/K
Coeficiente de Fricción (mu)	1.3	
Base granular		
Fibra de Acero Wirand® (FF1)	25	kg/m³
Re3	57.0	%

Como se muestra en la figura 35, siendo parte de las condiciones de la subrasante se ingresó el valor de coeficiente de respuesta ( $0.0556 \text{ N/mm}^3$ ), cual fue validado en la sección de las solicitaciones para el diseño de la losa (ver página 80).

**Figura 35:**

*Datos de entrada al Pave 2008, condiciones de la subrasante.*

**Figura 36:**

*Datos de entrada al Pave 2008, cargas en el sistema de stacker RS46-41SCH.*

Para la verificación ELU se debe comprobar que el factor general de seguridad resulte mayor a 1 en todas las posiciones de las cargas (Salsilli, 2013). En la figura 37 se verifica la capacidad a flexión cuando la carga se encuentra en posición de esquina y se obtuvo un factor de seguridad de 1.10, lo que indica que estando la carga en esa posición si cumple. En la tabla 18 se muestra el resumen total de la verificación de la capacidad a

flexión en las tres posiciones de carga, los valores del factor de seguridad superaron el valor 1 en todos los casos, por tanto, se verificó que el diseño realizado fue adecuado.

**Figura 37:**

*Verificación por ELU, capacidad a flexión con la carga en la esquina.*

Cargas	Posición	$P_u/P_{est}$	Juntas	Resultados
Concentrada				
Simple/doble carga puntual	Interior	---		$P_{est}$ [ ] kN
Sistema de Estanterías	Interior	---		$P_{est}$ [ ] kN
Montacarga	Esquina	1.31	3 Junta de contracción	$P_{est}$ 352.00 kN
Camión	Borde	[ ]	Libre	$P_{est}$ [ ] kN
Cargas Distribuidas				
Bloque de Carga (+ p. p.)	Interior	[ ]		$q_{est}$ [ ] kN/m <sup>2</sup>
Línea de Carga	Interior	[ ]		$P_{est}$ [ ] kN/m
Combinación	Posición		Junta	Resultado
Montacarga	Esquina		3 Junta de contracción	$P_{D11}$ 352.00 kN
<b>Resumen:</b>				
Capacidad última de Carga	$P_u - (\Delta P_{SH} + \Delta P_{DT})$		[ ]	387.69 kN
Factor de seguridad Global	$P_u/P_{D11}$		[ ]	1.10

( $\Delta P_{SH} + \Delta P_{DT}$ ) Efecto de la retracción y temperatura en la capacidad última de carga

*Nota:* Con la carga en la posición de esquina, el factor de seguridad resulta de 1.10, lo cual verifica la capacidad a flexión del diseño realizado.

**Figura 38:**

*Verificación por ELU, capacidad al punzonado con la carga en la esquina.*

Cargas	Posición	Juntas	Resultados
Concentrada			
Simple/doble carga puntual	Interior	---	$P_{est}$ [ ] kN
Sistema de Estanterías	Interior	---	$P_{est}$ [ ] kN
Montacarga	Esquina	3 Junta de contracción	$P_{est}$ 352.00 kN
Camión	Borde	Libre	$P_{est}$ [ ] kN
Combinación	Posición	Junta	Resultado
Montacarga	Esquina	3 Junta de contracción	$P_{D11}$ 352.00 kN
<b>Verificación en la cara de la carga</b>			
Capacidad última al punzonado	$P_{uv}$		2419.20 kN
Factor de seguridad global. Cara de Carga	$P_{uv}/P_{D11}$		6.87
<b>Verificación en el perímetro crítico</b>			
Capacidad última al punzonado	$P_{uv}$		483.51 kN
Factor de seguridad. Perímetro Crítico	$P_{uv}/P_{D11}$		1.37

*Nota:* Con la carga en la posición de esquina, y con la verificación de la capacidad cortante al punzonamiento el factor de seguridad resulta de 1.37, lo cual valida el diseño realizado.

En la tabla 18 se visualizan los resultados de las verificaciones del estado límite último (ELU) para la capacidad a la flexión y al punzonamiento en el software Pave 2008,

considerando el concreto de resistencia 40 MPa con la incorporación de fibra FF1 (dosificación de 25 kg/m<sup>3</sup>).

**Tabla 17:**

*Resultados de la capacidad a flexión, Pave 2008.*

<b>Capacidad a flexión</b>				
Cargas sobre la losa industrial	Posición de carga / tipo de junta	Carga Actuante	Capacidad última de carga	FS Global
Montacarga (Stacker RS46-41SCH)	Interior	352.0 kN	570.4 kN	1.62
	Borde + pasajunta	352.0 kN	443.6 kN	1.26
	Esquina + 3 juntas de contracción	352.0 kN	387.7 kN	1.10

*Nota:* La carga actuante fue resultado de la mayor combinación de cargas para el diseño realizado.

**Tabla 18:**

*Resultados de la capacidad cortante al punzonamiento, Pave 2008.*

<b>Capacidad cortante al punzonamiento</b>					
Cargas sobre la losa industrial	Posición de carga / tipo de junta	En la faz del área cargada		En el perímetro crítico	
		Capacidad última de corte	FS Global	Capacidad última de corte	FS Global
Montacarga (Stacker RS46-41SCH)	Interior	3225.6 kN	9.16	700.7 kN	1.99
	Borde + pasajunta	3741.8 kN	7.79	545.2 kN	1.55
	Esquina + 3 juntas de contracción	2419.2 kN	6.87	483.5 kN	1.37

*Nota:* Los factores de seguridad globales son obtenidos de la relación entre la capacidad ultima de corte con la carga actuante  $P = 352$  kN.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 NORMA AMERICANA ACI360R-10

Con los diseños realizados en el capítulo III de este estudio de investigación, usando los métodos de diseño de la norma americana ACI360R-10, se logró obtener el espesor de la losa industrial para el depósito de concentrados del Callao.

Asimismo, considerando todas las solicitaciones que tenía la losa industrial: tanto de la estructura que soportaba la losa, del tipo de concreto de la losa, y de cargas a la que estuvo sometida, obteniéndose los resultados que se visualizan en la tabla 19, donde con el método de la norma americana ACI360R-10 el espesor de la losa industrial resultó de 10 pulgadas, lo que es igual a 25 cm.

#### Tabla 19:

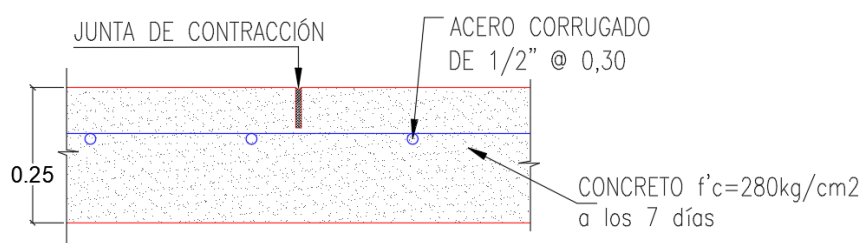
*Resumen de diseño con los métodos de la norma americana ACI360R-10.*

Método	Espesor de Losa		$A_{s_{\min}}$
PCA	10 pulgadas	25 cm	$4.5 \text{ cm}^2/\text{m}$
WRI	10 pulgadas	25 cm	$4.5 \text{ cm}^2/\text{m}$
COE	9 pulgadas	22.5 cm	$4.5 \text{ cm}^2/\text{m}$

*Nota:* Estos datos fueron calculados en el capítulo III, en el apartado de diseño de losa de concreto con acero tradicional con el método ACI360R-10 (ver páginas 85 y 86). Para el acero mínimo se usó la ecuación 2 (ver página 44).

#### Figura 39:

*Distribución de acero tradicional en losa de concreto,  $e=0.25\text{m}$ .*



Del mismo modo en la tabla 20 se presenta el acero mínimo requerido según cálculo de la ecuación 02, que viene siendo de  $4.5 \text{ cm}^2$  por un metro de ancho de losa,

por lo que para cumplir con el acero mínimo se distribuyó de la siguiente manera: acero corrugado  $f'y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\emptyset 1/2" @ 0.30 \text{ m}$ .

#### 4.2 REPORTE TÉCNICO BRITÁNICO TR-34

A través de los cálculos y ecuaciones presentadas en el método del reporte británico TR-34, que tuvo en cuenta las resistencias residuales que le otorga la fibra de acero al concreto, así como teniendo en cuenta la evaluación en las distintas posiciones de la carga (interior, borde y esquina), y realizando las verificaciones de estado límite último tanto a la flexión como al punzonamiento. Se obtuvo como resultado el diseño de una losa de concreto de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  a los 7 días, con espesor de 25 cm y una dosificación de fibra FF1 de 25 kg por  $\text{m}^3$  de concreto para la reparación de la losa industrial del depósito de concentrados del Callao.

Así también, este diseño fue corroborado por medio del software Pave 2008, donde se obtuvo que en la verificación del estado límite último en todas las posiciones de las cargas para la capacidad a la flexión, cumplieron, es decir, que la relación entre la capacidad última de carga y la carga actuante (factor general de seguridad) siempre resultó mayor al valor 1, para esto se presenta la tabla 20 de resumen.

**Tabla 20:**

*Verificación de la capacidad a la flexión.*

Capacidad a la flexión						
Cargas sobre la losa industrial	Posición de carga	Carga actuante	Diseño manual		Diseño pave 2008	
			Capacidad última de carga	FS global	Capacidad última de carga	FS global
Montacarga (Stacker RS46-41 SCH)	Interior	352 kN	569.50 kN	1.62	570.44 kN	1.62
	Borde + pasajunta	352 kN	443.40 kN	1.26	443.61 kN	1.26
	Esquina + juntas de contracción	352 kN	386.32 kN	1.10	387.69 kN	1.10

*Nota:* Estos datos fueron calculados en el capítulo III, a través del reporte TR-34. El valor de la carga interior se calculó en la página 83, la carga del borde en la página 84.

Del mismo modo se obtuvo que en la verificación del estado límite último para la capacidad al punzonamiento, cumplieron, es decir, que el factor de seguridad siempre

resultó mayor al valor 1. El diseño manual y el uso del programa Pave 2008 se utilizaron para comprobar los valores de los factores generales de seguridad, arrojando los resultados de escritos en la tabla 21.

Por tanto, según los diseños manuales y la verificación del software Pave 2008 se concluye que el diseño de la losa de concreto con fibras FF1 de acero cubrió todas las solicitaciones requeridas en el depósito de concentrados de minerales en el Callao. Considerando el módulo de reacción combinado de la base en el que estuvo apoyada la losa industrial hasta las cargas a las que esta fue sometida.

**Tabla 21:**

*Verificación de la capacidad cortante al punzonamiento.*

<b>Capacidad cortante por punzonamiento</b>						
Cargas sobre la losa industrial	Posición de carga / tipo de junta	<b>Diseño manual</b>		<b>Diseño pave 2008</b>		
		Capacidad última de corte	FS Global	Capacidad última de corte	FS Global	
<b>En la cara del área cargada</b>						
Montacarga (Stacker RS46-41SCH)	Interior	3225.0 kN	9.16	3225.6 kN	9.16	
	Borde + pasajunta	2539.7 kN	7.22	2741.8 kN	7.79	
	Esquina + junta de contracción	2414.5 kN	6.86	2419.2 kN	6.87	
	<b>En el perímetro crítico</b>					
	Interior	694.8 kN	1.97	700.6 kN	1.99	
	Borde + pasajunta	540.4 kN	1.54	545.2 kN	1.55	
Esquina + junta de contracción	478.1 kN	1.36	483.5 kN	1.37		

*Nota:* Estos datos fueron calculados en el capítulo III, a través del método de TR-34. Los valores del diseño manual calculado para la capacidad cortante al punzonamiento fueron desarrollados en las páginas 85 y 86.

## 4.3 COMPARATIVO DE PROPIEDADES MECÁNICAS

### 4.3.1 Evaluación comparativa de propiedades mecánicas

Esta sección expone los resultados de las propiedades mecánicas del concreto mediante ensayos realizados tanto al concreto sin fibra como al concreto con fibras FF1 de acero. Se realizaron ensayos para el revenimiento y la resistencia a compresión y a flexión.



a. Ensayo de revenimiento:

Los ensayos de revenimiento se realizaron in situ, los cuales fueron registrados en los protocolos del proyecto. Para determinar la trabajabilidad del concreto con y sin fibras de acero FF1, se utilizó en este caso la medición del asentamiento del concreto.

Para la comparación del revenimiento entre un concreto sin fibra y un concreto con fibras FF1 de acero se consideró que el valor del revenimiento que resulta para el concreto sin fibra es el 100%, y el valor del concreto con fibras FF1 de acero se relacionó con ese valor previo, lográndose así saber el porcentaje de variación que generó la adición de la fibra FF1 de acero.

Con lo mencionado, como se muestra en la tabla 22, en promedio, la adición de la fibra FF1 al concreto disminuye el valor del revenimiento hasta a un 97% del revenimiento de un concreto sin fibra.

**Tabla 22:**

*Ensayo de revenimiento al concreto fresco.*

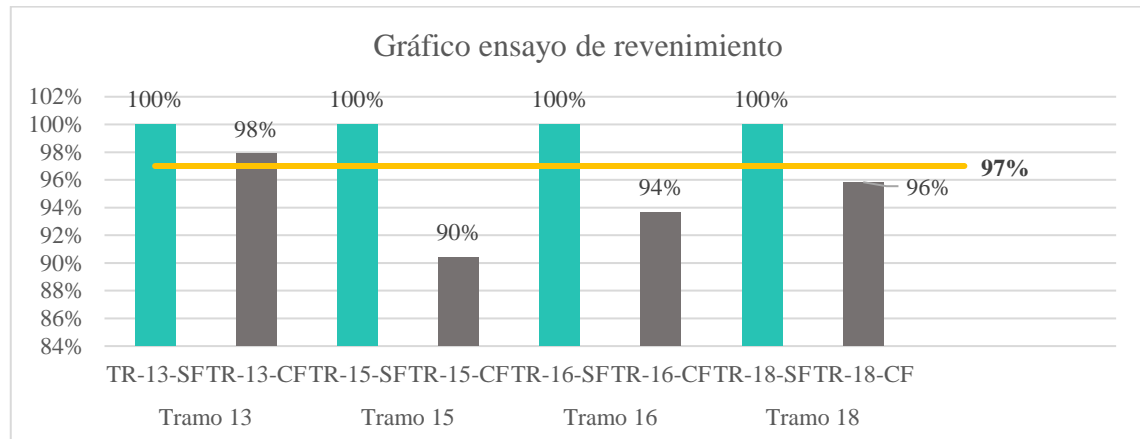
Descripción	Asentamiento registrado		Promedio (pulgadas)	%	% prom.
	M1 (pulgadas)	M2 (pulgadas)			
TR-13-SF	6.00	5.80	5.90	100%	
TR-13-CF	5.80	5.75	5.78	98%	
TR-15-SF	6.50	6.00	6.25	100%	
TR-15-CF	5.80	5.50	5.65	90%	97%
TR-16-SF	6.60	6.00	6.30	100%	
TR-16-CF	6.00	5.80	5.90	94%	
TR-18-SF	6.20	5.80	6.00	100%	
TR-18-CF	6.00	5.50	5.75	96%	

*Nota:* Por cada tramo reparado se tomaron 2 muestras para el ensayo de revenimiento, tanto para el concreto sin fibra y el concreto con fibra FF1 de acero.

Con los resultados y la media obtenida se muestra que la trabajabilidad del concreto con fibras FF1 en promedio puede disminuir hasta un 97% de la trabajabilidad normal, lo que significa que por la adición de la fibra el valor del revenimiento disminuye en un 3%.

**Figura 40:**

*Gráfico del promedio del ensayo de revenimiento al concreto.*



**b. Ensayo a la compresión**

Para el ensayo a compresión se obtuvieron 12 muestras cilíndricas para cada tipo de concreto. Los resultados de los testeos realizados en el concreto sin fibra se resumen en la tabla 23, y los certificados que acreditan la realización de los ensayos se incluyen en el Anexo 10 de este estudio.

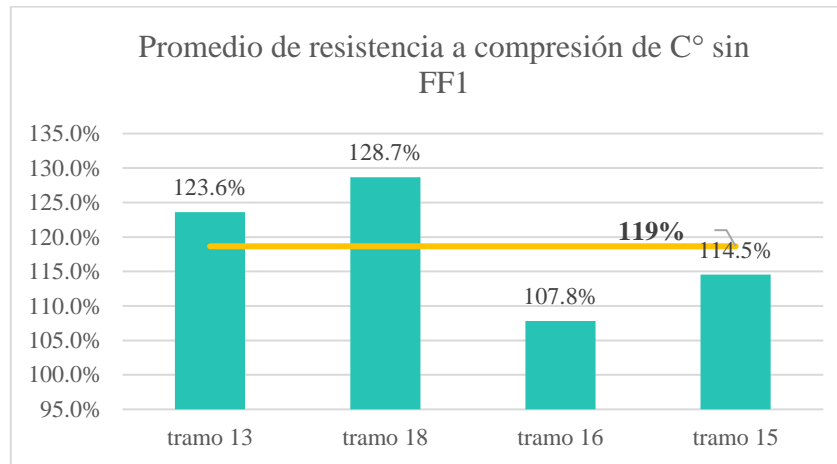
**Tabla 23:**

*Resultados de la resistencia a compresión del concreto sin fibra.*

Resultado de resistencia a la compresión de concreto sin fibra						
Descipción	Edad (días)	Resistencia alcanzada (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	% Sobre resistencia de diseño	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (%)
TR13-01	7	345.0	280.0	123.38%		
TR13-02	7	344.0	280.0	122.91%	346.1	123.6 %
TR13-03	7	349.0	280.0	124.50%		
TR18-01	14	479.0	367.2	130.32%		
TR18-02	14	473.0	367.2	128.77%	472.4	128.7 %
TR18-03	14	466.0	367.2	126.88%		
TR16-01	24	432.0	400.0	107.89%		
TR16-02	24	429.0	400.0	107.31%	431.2	107.8 %
TR16-03	24	433.0	400.0	108.20%		
TR15-01	130	473.0	408.0	115.94%		
TR15-02	130	467.0	408.0	114.50%	467.3	114.5 %
TR15-03	130	462.0	408.0	113.16%		

**Figura 41:**

*Promedio porcentual de la resistencia a compresión del concreto sin fibra.*



De acuerdo con los promedios obtenidos, la resistencia a compresión del concreto sin fibras fue hasta un 19% superior a la resistencia del concreto de diseño.

Los resultados del ensayo a compresión del concreto con fibra FF1 de acero se muestran en la tabla 25, donde se determina que la resistencia media a compresión del concreto con fibra FF1 de acero aumentó por encima de la resistencia de diseño hasta en un 24 %, como se muestra en la figura 42.

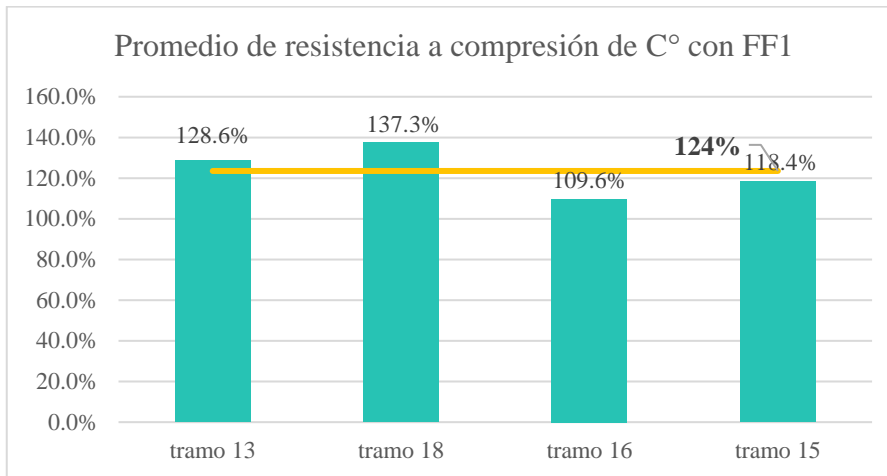
**Tabla 24:**

*Resultados de la resistencia a compresión del concreto con fibras de acero FF1.*

Resistencia a la compresión de concreto con adición de Fibra FF1						
Descripción	Edad (días)	Resistencia alcanzada (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	% sobre resistencia de diseño	Resistencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	% Resistencia promedio
TR13-01	7	394.5	280.00	140.91%		
TR13-02	7	389.6	280.00	139.14%	360.2	128.6 %
TR13-03	7	318.7	280.00	113.82%		
TR13-04	7	337.8	280.00	120.66%		
TR18-01	14	591.4	367.20	161.07%		
TR18-02	14	457.7	367.20	124.63%	504.3	137.3 %
TR18-03	14	463.9	367.20	126.33%		
TR16-01	24	438.3	400.00	109.56%		
TR16-02	24	438.9	400.00	109.74%	438.6	109.6 %
TR15-01	130	483.3	408.00	118.46%		
TR15-02	130	490.2	408.00	120.15%	483.2	118.4 %
TR15-03	130	476.0	408.00	116.66%		

**Figura 42:**

*Promedio porcentual del ensayo a compresión del concreto con fibras FF1.*



La comparación de los resultados de la resistencia del concreto a la compresión muestra que el concreto reforzado con fibra de acero FF1 se comporta mejor que el concreto no reforzado, produciendo hasta un 5% más de resistencia de lo previsto.

**Figura 43:**

*Ensayo de resistencia a la compresión simple del concreto.*



Como lo menciona Salsilli (2013) en su manual de pisos industriales, la variación de resistencia que la fibra le agrega al concreto se debe al aumento de densidad. Como demuestra la fibra wirand FF1, que tiene aproximadamente 6000 filamentos por kg, la resistencia del concreto dependes más de la densidad y de la solidificación que pueda experimentar el concreto fibrorreforzado, independientemente de la longitud de la fibra.

c. Resistencia a la flexión

En caso de la resistencia a flexión, en este estudio se ensayaron nueve especímenes prismáticos para el concreto sin fibra y nueve para el concreto con fibra FF1 de acero. En la tabla 25 se presentan los resultados promedios obtenidos para el módulo de rotura del concreto sin fibra, y en la tabla 26 se muestran los resultados de las pruebas al concreto con fibras FF1 de acero.

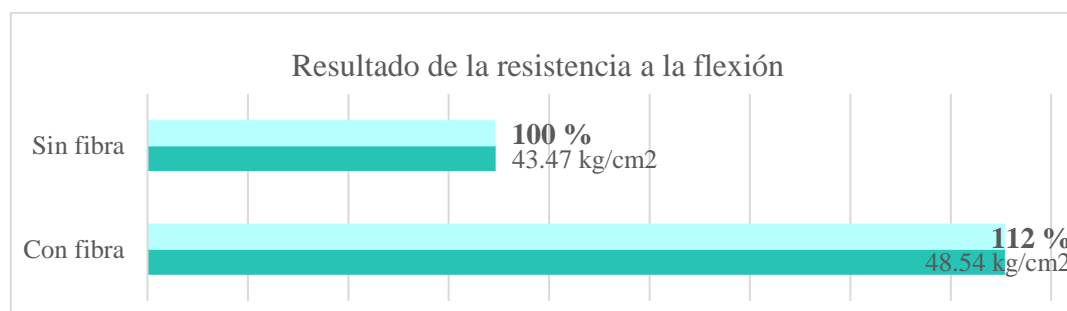
**Tabla 25:**

*Resultados de ensayos a flexión del concreto sin fibra.*

Descripción	Dimensiones			Distancia entre apoyos (mm)	Carga máxima (kg)	Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la flexión promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
	ancho (mm)	altura (mm)	longitud (mm)				
TR13-01	153	155	507	450	3696	44.70	
TR13-02	155	155	507	450	3250	47.50	
TR15-01	155	153	510	450	2752	36.50	
TR15-02	152	154	510	450	2896	36.20	
TR16-01	153	154	510	450	2942	45.00	43.47
TR16-02	153	153	510	450	2896	44.50	
TR18-01	155	154	547	450	2550	46.80	
TR18-02	153	155	548	450	3050	48.00	
TR18-03	156	154	547	450	2300	42.00	

**Figura 44:**

*Impacto porcentual en la resistencia a la flexión del concreto.*



**Tabla 26:**

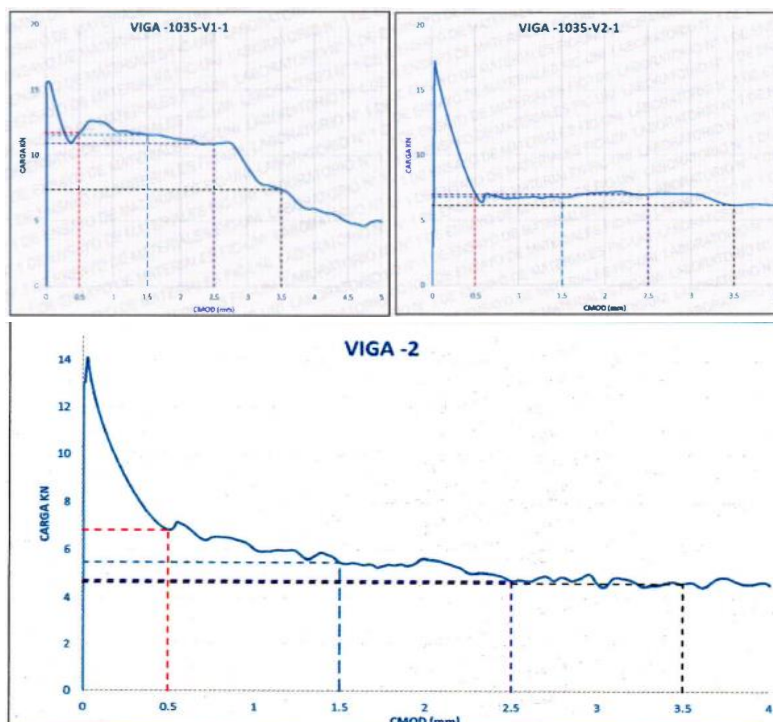
*Resultados de ensayos a flexión del concreto con fibras FF1.*

Descripción	Dimensiones			Distancia entre apoyos (mm)	Carga LOP (kg)	Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la flexión promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
	Ancho (mm)	Altura (mm)	Longitud (mm)				
TR13-01	152	151	548	500	1517.0	51.05	
TR13-02	151	151	550	500	1437.0	47.93	
TR15-01	152	150	545	500	1584.5	48.50	
TR15-02	150	152	547	500	1643.1	51.20	
TR16-01	152	150	550	500	1584.2	47.52	48.54
TR16-02	151	151	545	500	1685.6	49.20	
TR18-01	152	151	545	500	1591.1	48.95	
TR18-02	153	152	545	500	1722.4	52.01	
TR18-03	151	151	550	500	1302.1	42.83	

Como se observan los valores de los ensayos a la resistencia a flexión y de acuerdo con los promedios obtenidos para ambos tipos de concreto, se observa que el concreto con la adición de fibra FF1 de acero incrementa hasta en un 12 % la resistencia a flexión de un concreto que no contiene fibra, como se muestra en la figura 44.

**Figura 45:**

*Gráfico de resistencia a la flexión del concreto con fibras de acero.*



*Nota:* En la viga-2 se observa la recuperación de la carga después de la primera fisura, esto cuando CMOD (mm) = 0.5. Pasando CMOD = 0.5 se observa la aparición de la resistencia residual, esto por la adición de la fibra de acero al concreto.

Se muestra la figura 45. Los gráficos que ilustran los valores de la resistencia a flexión del concreto con fibras FF1 de acero muestran cómo se puede aumentar la capacidad del material para soportar más carga antes de que empiece a decaer. Este fenómeno se conoce como transferencia de esfuerzo post-fisuración, los cuales son generados por los filamentos de la fibra FF1 de acero.

Además, las particularidades mecánicas que confieren las fibras de acero FF1 al concreto se valoran más a partir de los ensayos a flexión, en los que la curva muestra claramente la curva carga - desplazamiento, o carga - apertura de fisura (figura 45). El área debajo de la curva muestra la capacidad residual.

#### Figura 46:

*Elaboración y rotura del ensayo a flexión.*



*Nota:* La elaboración de las muestras prismáticas se realizaron en cada tramo de losa ejecutada. Los ensayos de rotura para los especímenes del tramo 15 se realizaron a los 130 días de endurecido el concreto debido al aislamiento social por el Covid-19 que se dio a partir del 15 de marzo del 2021 hasta los días 15 de junio del 2021, que el sector de la construcción se reactivó.



### 4.3.2 Prueba de hipótesis

#### 4.3.2.1 Resistencia a la compresión del concreto

##### a. Descriptivos

**Tabla 27:**

*Descriptivos - ensayo a la compresión del concreto.*

		<b>Descriptivos</b>			
	<b>Adición de fibra FF1</b>		<b>Estadístico</b>	<b>Desv. Error</b>	
Compresión a los 7 días	Media		6.8767	0.47618	
	95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior	4.8278		
		límite superior	8.9255		
	Mediana		360.17		
	Varianza		0.6800		
	Desviación		0.82476		
	Mínimo		318.68		
	Máximo		389.60		
	Rango		1.5100		
Asimetría		-1.640	1.225		
Compresión a los 14 días	Media		5.4000	.22068	
	95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior	4.4505		
		límite superior	6.3495		
	Mediana		504.30		
	Varianza		0.146		
	Desviación		0.38223		
	Mínimo		535.47		
	Máximo		591.43		
	Rango		0.69		
Asimetría		1.684	1.225		
Compresión a los 24 días	Media		17.0900	.73501	
	95% de intervalo de confianza para la media	límite inferior	13.9275		
		límite superior	20.2525		
	Mediana		438.61		
	Varianza		1.6210		
	Desviación		1.27307		
	Mínimo		108.17		
	Asimetría		1.732		1.225
	Compresión a los 130 días	Media			12.8600
95% de intervalo de confianza para la media		límite inferior	10.3057		
		límite superior	15.4143		
Mediana			483.18		
Varianza			1.057		
Desviación			1.02825		
Rango			2.03		
Asimetría			0.803	1.225	

*Fuente:* Propia (IBM SPSS Statistics).



Tras realizar el análisis estadístico de los resultados del ensayo a compresión del concreto, en la tabla 28 se muestra los datos descriptivos, ello tras analizar el concreto con fibras FF1 de acero en edades de 7, 14, 24 y 130 días en comparación de la muestra de concreto sin fibra para una muestra total de 24 datos.

b. Prueba de normalidad

Se deberá probar la hipótesis estadística respecto al ensayo a la compresión simple obtenida en el ensayo de laboratorio tras adicionar fibra de acero FF1 al concreto, siendo ensayado en distintos tiempos de endurecido, teniendo como hipótesis estadística:

$H_0$ : Los datos del ensayo de compresión del concreto con fibras de acero FF1 provienen de una distribución normal.

$H_1$ : Los datos del ensayo de compresión del concreto con fibras de acero FF1 no provienen de una distribución normal.

Si la significación consecuente de la prueba de normalidad es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula; en caso contrario, se rechaza.

**Tabla 28:**

*Prueba de normalidad - ensayo a la compresión del concreto.*

Adición de fibra FF1 (%)	Pruebas de normalidad		
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Significancia
	0.838	3	0.209
Compresión del concreto	0.974	3	0.693
	0.753	3	0.008
	0.815	3	0.100

*Nota:* Elaboración propia, tomado de IBM SPSS Statistics.

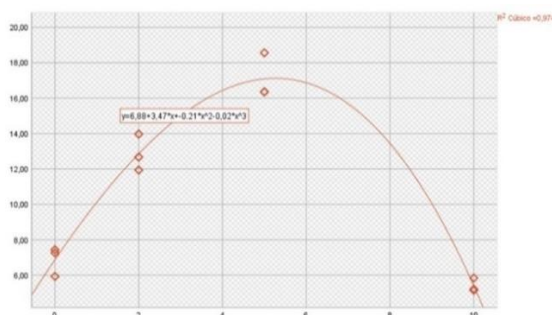
Como se obtuvo en la tabla de pruebas de normalidad para el ensayo a la compresión del concreto resultante en la prueba de laboratorio, uno de los valores de significancia por Shapiro-Wilk es menor a .05, por lo que se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que los datos del ensayo de compresión del concreto con fibras FF1 de acero no provienen de una distribución normal.

### c. Diagrama de dispersión

Para analizar la conexión entre las variables de estudio se tiene la gráfica de dispersión de puntos, donde el patrón de los puntos demuestra que, al emplear la fibra FF1 de acero para mejorar la resistencia por compresión de la losa industrial, es más elevada, y al llegar a los 24 días la compresión simple descende. La línea de ajuste cúbica presenta un valor de R2 de 0.974, interpretando así que la relación entre las variables es elevada.

#### Figura 47:

*Diagrama de dispersión - ensayo de compresión del concreto kg/cm<sup>2</sup>.*



Nota: Tomado del programa IBM SPSS Statistics.

### d. Hipótesis

$H_0$ : El concreto sin fibras tiene una resistencia a la compresión significativamente menor en comparación con el concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

$H_1$ : El concreto sin fibras tiene una resistencia a la compresión significativamente mayor en comparación con el concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

$$H_1: u_1 > u_2$$

### e. Nivel de significancia

El nivel de significancia ( $\alpha$ ) para la presente investigación es de  $\alpha = 0.05$ , y el grado de libertad para esta prueba es de  $12+12-2=22$ , junto a la tabla del Anexo 12 se obtiene  $t_{\alpha} = 1.717$ . Por lo tanto, se plantea:

Se acepta  $H_0$  si:  $t_p < t_{\alpha}$ ; Se rechaza  $H_0$  si:  $t_p > t_{\alpha}$

f. Prueba de t de Student

Reemplazando los valores de desviación estándar y el número de muestras en la ecuación 21 se obtiene que  $S_p = 47.79$ , este valor se reemplaza en la ecuación 22 y el estadístico de prueba resulta:  $t_p = -0.41$

g. Conclusión de la prueba de hipótesis para las muestras de la resistencia a la flexión del concreto

Puesto que:  $t_p < t_{\alpha}$ ;  $-0.41 < 1.717$ , “Se acepta” la hipótesis nula  $H_0$  lo que significa que el concreto sin fibras tiene una resistencia a la compresión significativamente menor en comparación con el concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

4.3.2.2 Resistencia a la flexión del concreto

a. Descriptivos

Los datos de una prueba a flexión con y sin fibra FF1 que se analizó estadísticamente se presentan en la siguiente tabla de descriptivos tras ensayar el concreto a flexión en comparación de la muestra sin fibra para una muestra total de 18 datos.

**Tabla 29:**

*Descriptivos - ensayo a flexión del concreto sin fibra de acero.*

	Adición de fibra FF1	Estadístico	Desv. Error
Sin fibra	Media	43.47	.41041
	95% de intervalo de límite inferior	38.20	
	confianza para la media límite superior	41.82	
	Mediana	38.59	
	Varianza	0.505	
	Desviación	0.71084	
	Asimetría	0.252	1.225

**Tabla 30:**

*Descriptivos - ensayo a flexión del concreto con fibra.*

	<b>Adición de fibra FF1</b>	<b>Estadístico</b>	<b>Desv. Error</b>
Con fibra	Media	48.54	.81409
	95% de intervalo de límite inferior	41.20	
	confianza para la media límite superior	51.06	
	Mediana	45.68	
	Varianza	1.988	
	Desviación	1.41005	
	Mínimo	40.79	
	Máximo	52.01	
	Rango	2.61	
	Asimetría	-1.592	1.225

*Nota:* Elaboración propia, tomado de IBM SPSS Statistics.

b. Prueba de normalidad

Se deberá probar la hipótesis estadística respecto al ensayo por flexión obtenido en el ensayo de laboratorio tras añadir fibra FF1 en el concreto, teniendo como hipótesis estadística:

$H_0$ : Los datos del ensayo a la flexión del concreto con fibras de acero FF1 provienen de una distribución normal.

$H_1$ : Los datos del ensayo a la flexión del concreto con fibras de acero FF1 no provienen de una distribución normal.

La hipótesis nula debe aceptarse o no rechazarse al nivel de significancia de 0.05 tras determinar si la significancia resultante de la prueba de normalidad es mayor a 0.05.

**Tabla 31:**

*Prueba de normalidad - ensayo a la flexión del concreto.*

<b>Adición de fibra FF1</b>	<b>Prueba de normalidad</b>		
	<b>Shapiro-Wilk</b>		
	Estadístico	gl	Significancia
Con fibra	0.998	3	0.907
Sin fibra	0.857	3	0.258

*Nota:* Elaboración propia, tomado de IBM SPSS Statistics.

Todos los valores de significación de Shapiro-Wilk para la resistencia a flexión de las pruebas de laboratorio fueron superiores a 0.05, por lo que se aceptó la hipótesis

nula y se concluyó que los datos del ensayo a la flexión del concreto con fibras de acero FF1 provienen de una distribución normal.

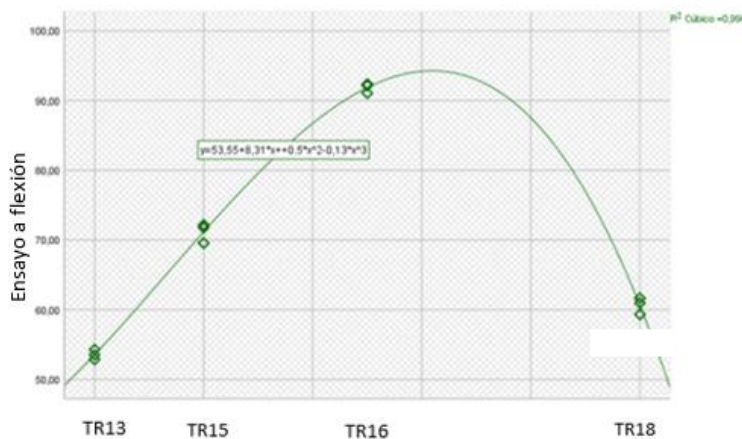
c. Diagrama de dispersión

Teniendo en cuenta la relación entre las dos variables se tiene la gráfica de dispersión de puntos, donde el patrón de los puntos demuestra que al emplear la fibra FF1 de acero en las muestras de concreto es más elevado, y al llegar al TR16 (tramo 16) desciende la tendencia.

La línea de ajuste cúbica presenta un valor del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.996, interpretando así que la relación entre las variables es elevada.

**Figura 48:**

*Diagrama de dispersión – ensayo por flexión.*



*Nota:* Elaboración propia (Programa IBM SPSS Statistics).

d. Hipótesis

$H_0$ : El concreto sin fibras tiene una resistencia a la flexión significativamente menor en comparación con el concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

$$H_0: u_1 \leq u_2$$

$H_1$ : El concreto sin fibras tiene una resistencia a la flexión significativamente mayor en comparación con el concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.



$$H_1: u_1 > u_2$$

e. Nivel de significancia

El nivel de significancia ( $\alpha$ ) para la investigación es de  $\alpha = 0.05$ , y el grado de libertad para esta prueba es de  $9+9-2=16$ , junto a la tabla del Anexo 12 se obtiene  $t_\alpha = 1.746$ . Por lo tanto, se plantea:

Se acepta  $H_0$  si:  $t_p < t_\alpha$

Se rechaza  $H_0$  si:  $t_p > t_\alpha$

f. Prueba de t de Student

Reemplazando los valores de desviación estándar y el número de muestras en la ecuación 21 se obtiene que  $S_p = 5.61$ , este valor se reemplaza en la ecuación 22 y el estadístico de prueba resulta:

$$t_p = -2.97$$

g. Conclusión de la prueba de hipótesis para las muestras del concreto a la flexión

Puesto que:  $t_p < t_\alpha$ ;  $-2.97 < 1.746$ , “Se acepta” la hipótesis nula  $H_0$  lo que significa que el concreto sin fibras una resistencia a la flexión significativamente menor en comparación con el concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

## 4.4 COMPARATIVO DE COSTOS

### 4.4.1 Evaluación comparativa de costos

Es importante señalar que para lograr el objetivo de comparar los costos de ejecución tanto de la losa industrial de concreto con acero tradicional como de la losa industrial de concreto con fibras de acero FF1, fue necesario conocer los presupuestos generales para cada tramo ejecutado de losa, todos ellos acordes con los metrados reales de los planos obtenidos de los planos producto de los diseños previamente realizados en

esta investigación. Adicionalmente, se tomaron en consideración los costos unitarios del mercado debidamente soportados por las instituciones Costos, Capeco y FTCCP.

**Tabla 32:**

*Partidas de un presupuesto de losa de concreto con acero tradicional.*

Ítem	Partidas	Unidad	Costo unitario (S/)
1	Reposición de losas de concreto		
1.01	Tramo - 13 (1194.90 m <sup>2</sup> ), e = 0.25m		
1.01.01	Encofrado y desencofrado de losas de concreto	m <sup>2</sup>	53.84
1.01.02	Suministro y habilitación de acero corrugado f <sub>y</sub> =4200 kg/cm <sup>2</sup> grado 60	kg	5.64
1.01.03	Dowels de d=32mm en juntas de dilatación	und	45.00
1.01.04	Dowels de d=32mm en juntas de construcción	und	45.00
1.01.05	Concreto premezclado, f' <sub>c</sub> =280 kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días, cemento tipo V, para losa con acero.	m <sup>3</sup>	385.80
1.01.06	Acabado semipulido y curado de concreto	m <sup>2</sup>	10.96
1.01.07	Juntas de contracción: corte y sellado con emulsión asfáltica	ml	22.87
1.01.08	Juntas de construcción y dilatación: tecnopor y sello con emulsión asfáltica	ml	23.28

**Tabla 33:**

*Partidas de un presupuesto de losa de concreto con fibras de acero FF1.*

Ítem	Partidas	Unidad	Costo unitario (S/)
2	Reposición de losas de concreto		
2.01	Tramo - 13 (1194.90 m <sup>2</sup> ), e = 0.25m		
2.01.01	Encofrado y desencofrado de losas de concreto	m <sup>2</sup>	53.84
2.01.02	Dowels de 32mm en juntas de dilatación	und	45.00
2.01.03	Dowels de 32mm en juntas de construcción	und	45.00
2.01.04	Concreto premezclado, f' <sub>c</sub> =280 kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días, cemento tipo V, para losa con fibra.	m <sup>3</sup>	381.20
2.01.05	Suministro y colocación de fibra de acero FF1 (25 kg/m <sup>3</sup> )	kg	5.15
2.01.06	Acabado semipulido y curado de concreto	m <sup>2</sup>	10.96
2.01.07	Juntas de contracción: corte y sellado con emulsión asfáltica	ml	22.87
2.01.08	Juntas de construcción y dilatación: tecnopor y sello con emulsión asfáltica	ml	23.28

En la tabla 32 y 33 se muestran las partidas totales que contiene la ejecución de la losa industrial con cada tipo de concreto. Para la evaluación de los comparativos

monetarios de las losas industriales con cada tipo de concreto se evaluaron los análisis de costos unitarios de las partidas que son diferentes en la ejecución de estas dos losas.

En el presupuesto de la losa industrial de concreto con acero tradicional (tabla 32) hay dos partidas que son diferentes a las de un presupuesto de concreto con fibras FF1 acero, estas partidas son:

**Tabla 34:**

*Análisis de costo unitario de suministro y habilitación de acero  $f'y=4200$  kg/cm<sup>2</sup>.*

Partida Rendimiento	1.01.02 kg/día	Suministro y habilitación de acero corrugado $f'y=4200$ kg/cm <sup>2</sup> grado 60 250.00	Eq. 250.00 Costo unitario directo por: kg				5.64
Código	Descripción de recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/	Parcial s/
<b>Mano de obra</b>							
0101010002		Capataz	hh	0.2500	0.0080	23.13	0.19
0101010003		Operario	hh	1.0000	0.0320	21.48	0.69
0101010004		Oficial	hh	1.0000	0.0320	15.89	0.51
							<b>1.38</b>
<b>Materiales</b>							
0210050004		Alambre negro N°16	kg		0.0600	3.71	0.22
02190100010029		Acero corrugado $f'y = 4200$ kg/cm <sup>2</sup> grado 60	kg		1.0300	3.85	3.97
							<b>4.19</b>
<b>Equipos</b>							
0301010006		Herramientas manuales	%mo		5.0000	1.38	0.07
							<b>0.07</b>

*Nota:* Los precios unitarios de los materiales fueron tomados de la revista Capeco, y de la página oficial de Costos, y los precios de la mano de obra fueron tomados de acuerdo con la tabla salarial del sector construcción para el periodo 2022 (Costos, 2022; Capeco, 2022; y FTCCP, 2022).

**Tabla 35:**

*Análisis del costo unitario de concreto premezclado,  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, losa con acero.*

Partida Rendimiento	1.01.05 m <sup>3</sup> /día	Concreto premezclado, $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días, cemento tipo V, losa con acero 100.00	Eq. 100.0 Costo unitario directo por: m <sup>3</sup>				385.80
Código	Descripción de recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/	Parcial s/
<b>Mano de obra</b>							
0101010002		Capataz	hh	0.5000	0.0400	23.13	0.93
0101010003		Operario	hh	1.0000	0.0800	21.48	1.72
0101010004		Oficial	hh	2.0000	0.1600	15.89	2.54
0101010005		Peón	hh	4.0000	0.3200	14.45	4.62
01010100060002		Operador de equipo liviano	hh	1.0000	0.0800	21.48	1.72
							<b>11.53</b>
<b>Materiales</b>							
0210050004		Traje protección tyvek	und		0.2000	15.41	3.08
02190100010029		Concreto premezclado $f'c = 280$ kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días, con cemento V	m <sup>3</sup>		1.0500	352.00	369.60
							<b>372.68</b>
<b>Equipos</b>							
0301010006		Herramientas manuales	%mo		5.0000	11.53	0.58
0301010004		Vibrador para concreto 4hp	hm	1.5000	0.1200	8.47	1.02



Según el presupuesto de la losa industrial de concreto con fibras (tabla 33), hay dos partidas que lo diferencian del presupuesto de una losa sin fibra, estas partidas son:

**Tabla 36:**

*Análisis de costo unitario de concreto premezclado,  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ , losa con fibra.*

Partida	02.01.04	Concreto premezclado, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ a los 7 días, cemento tipo v, losa con fibra.					
Rendimiento	$\text{m}^3/\text{día}$	150.0000	Eq. 150.0000	Costo unitario directo por: $\text{m}^3$		381.20	
Código	Descripción de recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/	Parcial s/
<b>Mano de obra</b>							
0101010002	Capataz		hh	0.5000	0.0267	23.13	0.62
0101010003	Operario		hh	1.0000	0.0533	21.48	1.15
0101010004	Oficial		hh	2.0000	0.1067	15.89	1.69
0101010005	Peón		hh	4.0000	0.2133	14.45	3.08
01010100060002	Operador de equipo liviano		hh	1.0000	0.0533	21.48	1.15
							<b>7.69</b>
<b>Materiales</b>							
0210050004	Traje protección tyvek		und		0.2000	15.41	3.08
02190100010029	Concreto premezclado $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ a los 7 días con cemento v.		$\text{m}^3$		1.0500	352.00	369.60
							<b>372.68</b>
<b>Equipos</b>							
0301010006	Herramientas manuales		%mo		5.0000	7.69	0.38
0301010004	Vibrador para concreto 4hp		hm	1.0000	0.0533	8.47	0.45
							<b>0.84</b>

*Nota:* Los precios unitarios de los materiales fueron tomados de la revista Capeco, y de la página oficial de Costos, y los precios de la mano de obra fueron tomados de acuerdo con la tabla salarial del sector construcción para el periodo 2022. Tomado de Costos (2022), Capeco (2022) y FTCCP, 2022.

#### 2.01.05 Suministro y colocación de fibra de acero FF1

**Tabla 37:**

*Análisis de costo unitario de suministro y colocación de fibra de acero FF1.*

Partida	2.01.05	Suministro y colocación de fibra de acero FF1					
Rendimiento	$\text{kg}/\text{día}$	3500.00	Costo unitario directo por: kg			5.15	
Código	Descripción de recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/	Parcial s/
<b>Mano de obra</b>							
0101010002	Capataz		hh	0.1000	0.0002	23.13	0.01
0101010004	Oficial		hh	1.0000	0.0023	15.89	0.04
							<b>0.04</b>
<b>Materiales</b>							
02190100010029	Fibra de acero wirand FF1		kg		1.0500	4.86	5.10
							<b>5.10</b>
<b>Equipos</b>							
0301010006	Herramientas manuales		%mo		3.0000	0.04	0.00
							<b>0.00</b>

*Nota:* Los precios unitarios de los materiales fueron tomados de la revista Capeco, y de la página oficial de Costos. Los precios de la mano de obra fueron tomados de acuerdo con la tabla salarial del sector construcción para el periodo 2022.

A continuación, se presenta el presupuesto general por tramos:

**Tabla 38:**

*Presupuesto de losa de concreto con acero tradicional, tramo 13 y 15.*

Ítem	Partidas	Unidad	Presupuesto		
			Metrado	Costo Unitario S/	Costo Parcial S/
1	Reposición de losas de concreto con acero tradicional				
<b>1.01</b>	<b>Tramo - 13 (1194.90 m<sup>2</sup>), e=0.25m</b>				<b>230,791.14</b>
1.01.01	Encofrado y desencofrado de losas de concreto	m <sup>2</sup>	7.63	53.84	410.51
1.01.02	Suministro y habilitación de acero corrugado f'y=4200 kg/cm <sup>2</sup> grado 60	kg	10,993.08	5.64	61,979.25
1.01.03	Dowels de d=32mm en juntas de dilatación	und	148.00	45.00	6,659.67
1.01.04	Dowels de d=32mm en juntas de construcción	und	114.00	45.00	5,129.75
1.01.05	Concreto premezclado, f'c=280 kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días, cemento tipo v, para losa con acero	m <sup>3</sup>	326.00	385.80	125,771.85
1.01.06	Acabado semipulido y curado de concreto	m <sup>2</sup>	1,194.90	10.96	13,091.88
1.01.07	Juntas de contracción: corte y sellado con emulsión asfáltica	ml	503.57	22.87	11,514.26
1.01.08	Juntas de construcción y dilatación: tecnopor y sello con emulsión asfáltica	ml	267.75	23.28	6,233.96
<b>1.02</b>	<b>Tramo - 15 (368.79 m<sup>2</sup>), e=0.25m</b>				<b>72,150.38</b>
1.02.01	Encofrado y desencofrado de losas de concreto	m <sup>2</sup>	0.00	53.84	-
1.02.02	Suministro y habilitación de acero corrugado f'y=4200 kg/cm <sup>2</sup> grado 60	kg	3,392.87	5.64	19,129.07
1.02.03	Dowels de d=32mm en juntas de dilatación	und	76.00	45.00	3,419.83
1.02.04	Dowels de d=32mm en juntas de construcción	und	0.00	45.00	-
1.02.05	Concreto premezclado, f'c=280 kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días, cemento tipo v, para losa con acero	m <sup>3</sup>	105.00	385.80	40,509.34
1.02.06	Acabado semipulido y curado de concreto	m <sup>2</sup>	368.79	10.96	4,040.64
1.02.07	Juntas de contracción: corte y sellado con emulsión asfáltica	ml	131.10	22.87	2,997.62
1.02.08	Juntas de construcción y dilatación: tecnopor y sello con emulsión asfáltica	ml	88.22	23.28	2,053.89

**Tabla 39:**

*Presupuesto de losa de concreto con acero tradicional, tramo 16 y 18.*

Ítem	Partidas	Unidad	Presupuesto		
			Metrado	Costo Unitario S/	Costo Parcial S/
<b>1.03</b>	<b>Tramo - 16 (281 m<sup>2</sup>), e=0.25m</b>				<b>57,061.69</b>
1.02.01	Encofrado y desencofrado de losas de concreto	m <sup>2</sup>	0.00	53.84	-
1.02.02	Suministro y habilitación de acero corrugado f'y=4200 kg/cm <sup>2</sup> grado 60	kg	2,585.20	5.64	14,575.42
1.02.03	Dowels de d=32mm en juntas de dilatación	und	32.00	45.00	1,439.93
1.02.04	Dowels de d=32mm en juntas de construcción	und	71.00	45.00	3,194.84
1.02.05	Concreto premezclado, f'c=280kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días, cemento tipo v, para losa con acero	m <sup>3</sup>	77.00	385.80	29,706.85
1.02.06	Acabado semipulido y curado de concreto	m <sup>2</sup>	281.00	10.96	3,078.77
1.02.07	Juntas de contracción: corte y sellado con emulsión asfáltica	ml	125.52	22.87	2,870.09
1.02.08	Juntas de construcción y dilatación: tecnopor y sello con emulsión asfáltica	ml	94.31	23.28	2,195.80
<b>1.04</b>	<b>Tramo - 18 (375 m<sup>2</sup>), e=0.25m</b>				<b>74,442.99</b>
1.02.01	Encofrado y desencofrado de losas de concreto	m <sup>2</sup>	0.00	53.84	-
1.02.02	Suministro y habilitación de acero corrugado f'y=4200 kg/cm <sup>2</sup> grado 60	kg	3,450.00	5.64	19,451.18
1.02.03	Dowels de d=32mm en juntas de dilatación	und	28.00	45.00	1,259.94
1.02.04	Dowels de d=32mm en juntas de construcción	und	78.00	45.00	3,509.83
1.02.05	Concreto premezclado, f'c=280kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días, cemento tipo v, para losa con acero	m <sup>3</sup>	107.00	385.80	41,280.94
1.02.06	Acabado semipulido y curado de concreto	m <sup>2</sup>	375.00	10.96	4,108.68
1.02.07	Juntas de contracción: corte y sellado con emulsión asfáltica	ml	77.37	22.87	1,769.12
1.02.08	Juntas de construcción y dilatación: tecnopor y sello con emulsión asfáltica	ml	131.57	23.28	3,063.30

**Tabla 40:**

*Presupuesto de losa de concreto con fibras de acero FF1, tramo 13 y 15.*

Ítem	Partidas	Unidad	Presupuesto		
			Metrado	Costo Unitario S/	Costo Parcial S/
2	Reposición de losas de concreto con fibras de acero FF1				
<b>2.01</b>	<b>Tramo - 13 (1194.90 m<sup>2</sup>), e=0.25m</b>				<b>206,936.15</b>
2.01.01	Encofrado y desencofrado de losas de concreto	m <sup>2</sup>	7.63	53.84	410.51
2.01.02	Dowels de 32mm en juntas de dilatación	und	148.00	45.00	6,659.67
2.01.03	Dowels de 32mm en juntas de construcción	und	114.00	45.00	5,129.75
2.01.04	Concreto premezclado, f'c=280 kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días, cemento tipo v, para losa con fibra.	m <sup>3</sup>	326.00	381.20	124,272.38
2.01.05	Suministro y colocación de fibra de acero ff1 (25 kg/ m <sup>3</sup> )	kg	8,150.00	5.15	41,938.72
2.01.06	Acabado semipulido y curado de concreto	m <sup>2</sup>	1,194.90	10.96	13,091.88
2.01.07	Juntas de contracción: corte y sellado con emulsión asfáltica	ml	437.89	22.87	10,012.40
2.01.08	Juntas de construcción y dilatación: tecnopor y sello con emulsión asfáltica	ml	232.83	23.28	5,420.84
<b>2.02</b>	<b>Tramo - 15 (368.79 m<sup>2</sup>), e=0.25m</b>				<b>65,387.33</b>
2.02.01	Encofrado y desencofrado de losas de concreto	m <sup>2</sup>	0.00	53.84	-
2.02.02	Dowels de 32mm en juntas de dilatación	und	76.00	45.00	3,419.83
2.02.03	Dowels de 32mm en juntas de construcción	und	0.00	45.00	-
2.02.04	Concreto premezclado, f'c=280 kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días, cemento tipo v, para losa con fibra.	m <sup>3</sup>	105.00	381.20	40,026.38
2.02.05	Suministro y colocación de fibra de acero FF1 (25 kg/m <sup>3</sup> )	kg	2,625.00	5.15	13,507.87
2.02.06	Acabado semipulido y curado de concreto	m <sup>2</sup>	368.79	10.96	4,040.64
2.02.07	Juntas de contracción: corte y sellado con emulsión asfáltica	ml	114.00	22.87	2,606.62
2.02.08	Juntas de construcción y dilatación: tecnopor y sello con emulsión asfáltica	ml	76.71	23.28	1,785.99

**Tabla 41:**

*Presupuesto de losa de concreto con fibras de acero FF1, tramo 16 y 18.*

Ítem	Partidas	Unidad	Presupuesto		
			Metrado	Costo unitario S/	Costo parcial S/
<b>2.03</b>	<b>Tramo - 16 (281 m<sup>2</sup>), e=0.25m</b>				<b>51,377.11</b>
2.03.01	Encofrado y desencofrado de losas de concreto	m <sup>2</sup>	0.00	53.84	-
2.03.02	Dowels de 32mm en juntas de dilatación	und	32.00	45.00	1,439.93
2.03.03	Dowels de 32mm en juntas de construcción	und	71.00	45.00	3,194.84
2.03.04	Concreto premezclado, f'c=280 kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días, cemento tipo v, para losa con fibra.	m <sup>3</sup>	77.00	381.20	29,352.68
2.03.05	Suministro y colocación de fibra de acero FF1 (25 kg/m <sup>3</sup> )	kg	1,925.00	5.15	9,905.77
2.03.06	Acabado semipulido y curado de concreto	m <sup>2</sup>	281.00	10.96	3,078.77
2.03.07	Juntas de contracción: corte y sellado con emulsión asfáltica	ml	109.15	22.87	2,495.73
2.03.08	Juntas de construcción y dilatación: teknopor y sello con emulsión asfáltica	ml	82.01	23.28	1,909.39
<b>2.04</b>	<b>Tramo - 18 (375 m<sup>2</sup>), e=0.25m</b>				<b>67,634.49</b>
2.04.01	Encofrado y desencofrado de losas de concreto	m <sup>2</sup>	0.00	53.84	-
2.04.02	Dowels de 32mm en juntas de dilatación	und	28.00	45.00	1,259.94
2.04.03	Dowels de 32mm en juntas de construcción	und	78.00	45.00	3,509.83
2.04.04	Concreto premezclado, f'c=280 kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días, cemento tipo v, para losa con fibra.	m <sup>3</sup>	107.00	381.20	40,788.79
2.04.05	Suministro y colocación de fibra de acero FF1 (25 kg/m <sup>3</sup> )	kg	2,675.00	5.15	13,765.16
2.04.06	Acabado semipulido y curado de concreto	m <sup>2</sup>	375.00	10.96	4,108.68
2.04.07	Juntas de contracción: corte y sellado con emulsión asfáltica	ml	67.28	22.87	1,538.36
2.04.08	Juntas de construcción y dilatación: tecnopor y sello con emulsión asfáltica	ml	114.41	23.28	2,663.74

Por consiguiente, se evaluaron los presupuestos y se concluyó que la partida con mayor incidencia en la ejecución de los dos distintos tipos de losa es la partida de reforzamiento, es decir el uso del acero tradicional o el uso de la fibra de acero FF1, con el estudio se obtuvo que, si se evalúa tan solo el material a usar para el refuerzo, la elección del uso de la fibra puede generar un ahorro de un 45 % del costo normal que se usaría por comprar acero tradicional.

Se presenta la tabla resumen y comparativa de los presupuestos por tramos, considerando los dos escenarios, losa de concreto con acero tradicional y losa de concreto con fibras FF1 de acero.

**Tabla 42:**

*Resumen comparativo de presupuestos de losas de los tramos 13,15,16 y 18.*

Descripción de losa industrial	Área de tramo ejecutado	Costo por área de losa			
		Losa industrial de concreto con acero tradicional	Losa industrial de concreto con fibras de acero FF1	% de ahorro	
Tramo - 13, e=0.25m	1194.90 m <sup>2</sup>	s/ 230,791.14	s/ 206,936.15	10 %	
Tramo - 15, e=0.25m	368.79 m <sup>2</sup>	s/ 72,150.38	s/ 65,387.33	9 %	
Tramo - 16, e=0.25m	281.00 m <sup>2</sup>	s/ 57,061.69	s/ 51,377.11	10 %	
Tramo - 18, e=0.25m	375.00 m <sup>2</sup>	s/ 74,442.99	s/ 67,634.49	9 %	

A través de los presupuestos generales por tramos de losa, se obtiene como resultado que la elección del concreto con fibras FF1 de acero para la reparación de losa industrial pudo generar un ahorro económico de un 10 % en promedio.

Como puede verse en la tabla 43, el costo aproximado de un metro cuadrado de losa con acero tradicional es de S/ 197.59, mientras que el costo aproximado de un metro cuadrado de losa de concreto con fibras FF1 de acero es de S/ 178.42. Esto demuestra que la elección de construir una losa industrial de concreto con fibras FF1 de acero supone un ahorro de aproximadamente S/ 19.17 por metro cuadrado de losa industrial, teniendo en cuenta un espesor de 25 cm para la losa.

Del mismo modo presentamos los costos por m<sup>2</sup> por ejecución de ambos tipos de

losa:

**Tabla 43:**

*Costo por 1 m<sup>2</sup> de losa de concreto con acero tradicional y con fibra.*

Descripción	Costo por 1 m <sup>2</sup> de losa			
	Losa industrial de concreto con acero tradicional		Losa industrial de concreto con fibras FF1	
Tramo - 13, e=0.25m	S/	193.15	S/	173.18
Tramo - 15, e=0.25m	S/	195.64	S/	177.30
Tramo - 16, e=0.25m	S/	203.07	S/	182.84
Tramo - 18, e=0.25m	S/	198.51	S/	180.36
Promedio:	S/	197.59	S/	178.42
Ahorro en soles por m <sup>2</sup>		S/	19.17	

#### 4.4.2 Análisis estadístico

Se presenta el análisis de estadístico de la primera muestra independiente, losas de concreto con acero tradicional.

**Tabla 44:**

*Análisis estadístico: costo por m<sup>2</sup> de losa de concreto con acero tradicional.*

Muestra	$X_n$	$X_n - \bar{X}$	$(X_n - \bar{X})^2$
Tramo - 13, e=0.25m	193.15	-4.45	19.76
Tramo - 15, e=0.25m	195.64	-1.95	3.81
Tramo - 16, e=0.25m	203.07	5.47	29.97
Tramo - 18, e=0.25m	198.51	0.92	0.85

$$n = 4$$

$$\sum X = 790.37$$

Con la aplicación de la ecuación 19, resulta:  $\bar{X} = 197.59$

$$\sum (X_n - \bar{X})^2 = 54.39$$

Con la aplicación de la ecuación 20,  $S = 4.26$

Consecutivamente, se presenta el análisis de estadístico de la segunda muestra independiente, losas de concreto con fibras de acero FF1.

**Tabla 45:**

*Análisis estadístico: costo por m<sup>2</sup> de losa de concreto con fibras de acero FF1.*

Muestra	$X_n$	$X_n - \bar{X}$	$(X_n - \bar{X})^2$
Tramo - 13, e=0.25m	173.18	-5.24	27.43
Tramo - 15, e=0.25m	177.30	-1.12	1.25
Tramo - 16, e=0.25m	182.84	4.42	19.51
Tramo - 18, e=0.25m	180.36	1.94	3.76

$$n = 4$$

$$\sum X = 713.68$$

Con la aplicación de la ecuación 19, resulta  $\bar{X} = 178.42$

$$\sum (X_n - \bar{X})^2 = 51.94$$

Con la aplicación de la ecuación 20, resulta  $S = 4.16$

#### 4.4.3 Prueba de hipótesis

##### A. Parámetros de interés

**Tabla 46:**

*Parámetros de interés para la prueba de hipótesis de costos.*

Descripción		grupo 1	grupo 2
		Losa de concreto con acero tradicional	Losa de concreto con fibras de acero FF1
Número de muestras	$n$	4	4
Media	$\bar{X}$	197.59	178.42
Desviación estándar	$S$	4.26	4.16

##### B. Hipótesis

$H_0$ : El concreto con refuerzo de acero tradicional tiene costos significativamente mayores en comparación con el concreto con fibras de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

$$H_0: u_1 \geq u_2$$

$H_1$ : El concreto con refuerzo de acero tradicional tiene costos significativamente menores en comparación con el concreto con fibras de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.





$$H1: u1 < u2$$

### C. Nivel de significancia

En la investigación el nivel de significancia ( $\alpha$ ) para es de  $\alpha = 0.05$ , y el grado de libertad para esta prueba es de  $4+4-2=6$ , junto a la tabla del Anexo 12 se obtiene  $t_{\alpha} = 1.943$ . Por lo tanto, se plantea:

Se rechaza  $H_0$  si:  $t_p < -t_{\alpha}$

Se acepta  $H_0$  si:  $t_p > -t_{\alpha}$

### D. Prueba t de Student:

Reemplazando los resultados de desviación estándar y el total de muestras en la ecuación 21 se obtuvo que  $S_p = 4.21$ , este valor se reemplaza en la ecuación 22 y el estadístico de prueba resulta:

$$t_p = 6.44$$

### E. Conclusión

Puesto que:  $t_p > -t_{\alpha}$ ;  $6.44 > -1.943$ , “Se acepta” la hipótesis nula  $H_0$  lo que significa que el concreto con refuerzo de acero tradicional tiene costos significativamente mayores en comparación con el concreto con fibras de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

## 4.5 COMPARATIVO DE TIEMPOS

### 4.5.1 Análisis comparativo de tiempos de ejecución

Para comparar los tiempos de ejecución de losas industriales de concreto con acero tradicional y losas industriales de concreto con fibras FF1 de acero se evaluaron los cronogramas de ejecución de cada tipo de losa en cada tramo ejecutado en el depósito de concentrados Callao.

En la figura 49 se aprecia el cronograma de ejecución de la losa del tramo 13, que tuvo una duración de 49 días el cual fue ejecutado en el depósito de concentrados Callao.

La losa ejecutada fue de un área de 1194.90 metros cuadrados, de concreto  $f'c=280$   $\text{kg/cm}^2$  a los 7 días, con incorporación de fibra FF1 de acero (dosificación 25  $\text{kg/m}^3$ ) y espesor de 25 cm.

Así subsecuentemente se continuó ejecutando los tramos 15, 16 y 18 de las losas industriales del proyecto en el depósito de concentrados Callao, estas losas fueron ejecutadas de concreto con fibras FF1 de acero.

**Figura 49:**

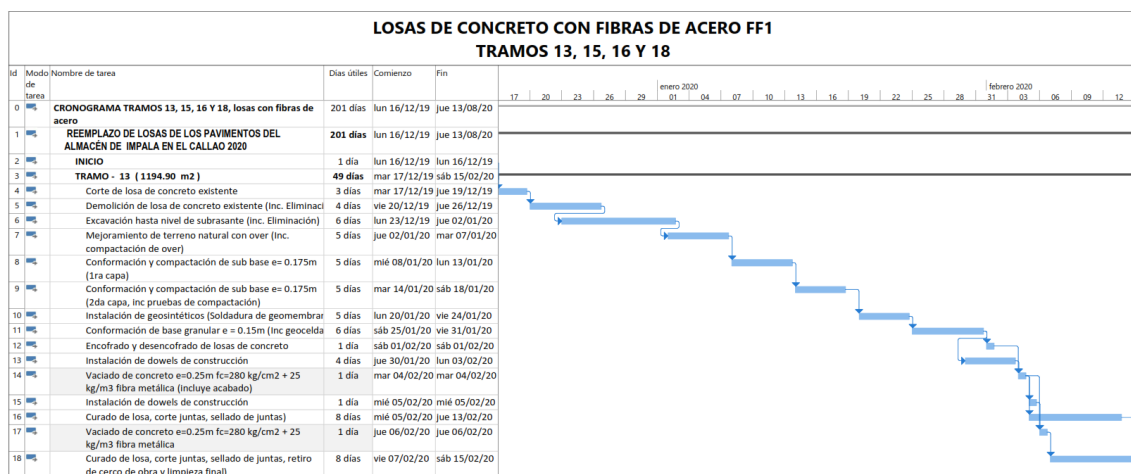
*Cronograma de ejecución, losa de concreto con fibras FF1 de acero.*



*Nota:* En el cronograma de ejecución de losa de concreto con fibras FF1 de acero se observa que el tiempo fue de 49 días. Tomado del expediente técnico.

**Figura 50:**

*Cronograma de ejecución, losa de concreto con acero tradicional.*



*Nota:* En el cronograma de ejecución de losa de concreto con fibras de acero FF1 se observa que el tiempo fue de 49 días. Tomado del expediente técnico.

Los tiempos de ejecución de una losa industrial de concreto con acero convencional y de concreto con fibras FF1 de acero se muestran en el cuadro resumen (tabla 47), teniendo en cuenta que los tiempos de ejecución de losas de concreto con fibras FF1 de acero fueron registradas en el proceso de construcción de dichas losas en el Proyecto “Mantenimiento y reparación de pavimento del almacén Impala Callao 2020”. Los tiempos de ejecución de las losas con acero tradicional fueron programadas en similitud con el primer escenario, pero teniendo en cuenta el rendimiento de la partida de “Habilitación y colocación de acero corrugado”, que como se observó en las partidas del presupuesto de una losa de concreto con armadura tradicional, es la partida más influyente.

**Tabla 47:**

*Comparativo de tiempos de ejecución de losas de concreto.*

Descripción	Área (m <sup>2</sup> )	Losa con acero tradicional	Losa con fibra de acero FF1	Ahorro en tiempo	Ahorro en %
Tramo – 13, e=0.25m	1194.9	55 días	49 días	6 días	11%
Tramo – 15, e=0.25m	368.79	29 días	27 días	2 días	7 %
Tramo – 16, e=0.25m	281.00	24 días	21 días	3 días	13 %
Tramo – 18, e=0.25m	375.00	29 días	27 días	2 días	7 %

*Nota:* En la tabla se observa los tiempos de ejecución para una losa de concreto con acero tradicional y una de concreto con fibras de acero FF1. Tomado del expediente técnico.

Según lo expuesto, existe una diferencia de tiempos de ejecución para las losas industriales. Para áreas entre 200 m<sup>2</sup> y 400 m<sup>2</sup> la ejecución de losa de concreto con armadura tradicional tarda tres días más en completarse que la ejecución de una losa de concreto con fibras FF1 de acero.

Seguidamente se detallan los rendimientos tomados en cuenta en los cronogramas de ejecución de cada tipo de losa los cuales justifican que el ahorro en tiempo por cada losa industrial ejecutada con fibra de acero es del 9 % en comparación con la losa industrial con acero convencional. En la tabla 48 se puede verificar la diferencia de rendimientos con respecto al refuerzo a usar en cada tipo de concreto.

**Tabla 48:***Rendimiento de partidas influyentes en la losa industrial de concreto.*

Descripción	Rendimiento para losa industrial de concreto	
	con acero tradicional	con fibra de acero FF1
Habilitación y colocación de acero corrugado $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$	250 kg/día	-
Suministro y colocación de fibra de acero FF1	-	3500 kg/día
Vaciado de concreto premezclado	100 m <sup>3</sup> /día	150 m <sup>3</sup> /día

*Nota:* Elaboración propia.

Así mismo, al examinar los rendimientos reales en la tabla 48 y los metrados de acero tradicional y de fibra de acero FF1 para cada tramo en la tabla 49, se observa claramente que el uso de la fibra es más eficiente para una losa industrial que el acero convencional. Esta mejora en el rendimiento del refuerzo es que, la fibra de acero FF1 es directamente colocado al concreto, esto en la misma planta de producción como se observa en la figura 48, en cambio el acero tradicional requiere de habilitarse y colocarse in situ.

**Tabla 49:***Metrado de acero tradicional y fibra de acero FF1 para losas industriales.*

Descripción	Fecha de Vaciado	Área (m <sup>2</sup> )	Cantidad de acero tradicional (kg)	Cantidad de fibra FF1 (kg)
Tramo - 13, e=0.25m	31/01/2020	1194.90	10,993.08	8,150.00
Tramo - 15, e=0.25m	05/03/2020	368.79	3,392.87	2,625.00
Tramo - 16, e=0.25m	11/06/2020	281.00	2,585.20	1,925.00
Tramo - 18, e=0.25m	23/07/2020	375.00	3,450.00	2,675.00

*Nota:* Elaboración propia.

La incorporación de la fibra FF1 de acero, logra de esta manera un impacto notorio en el rendimiento de las actividades de vaciado de concreto. Según los estudios realizados en este apartado de la investigación, la ejecución de losas con fibra de acero podría reducir hasta en un 9 % el total del tiempo de ejecución a comparación de la losa con acero tradicional en losas industriales.

**Figura 51:**

*Colocación de fibra wirand FF1 en la planta de Unicon.*



#### 4.5.2 Análisis estadístico

Se presenta el análisis de estadístico del primer grupo independiente, losas de concreto con acero tradicional.

**Tabla 50:**

*Análisis estadístico: tiempo de ejecución de losa con acero tradicional.*

Muestra	$X_n$	$X_n - \bar{X}$	$(X_n - \bar{X})^2$
Tramo - 13, e=0.25m	55	20.75	430.56
Tramo - 15, e=0.25m	29	-5.25	27.56
Tramo - 16, e=0.25m	24	-10.25	105.06
Tramo - 18, e=0.25m	29	-5.25	27.56

*Nota:* Elaboración propia.

$$n = 4$$

$$\sum X = 137$$

Con la aplicación de la Ec. (19), resulta:  $\bar{X} = 34.25$

$$\sum (X_n - \bar{X})^2 = 590.75$$

Con la aplicación de la Ec. (20),  $S = 14.03$

Consecutivamente, se presenta el análisis de estadístico del segundo grupo independiente, losas de concreto con fibras FF1 de acero.

**Tabla 51:**

*Análisis estadístico: tiempo de ejecución de losa con fibras FF1 de acero.*

Muestra	$X_n$	$X_n - \bar{X}$	$(X_n - \bar{X})^2$
Tramo - 13, e=0.25m	49	18.00	324.00
Tramo - 15, e=0.25m	27	-4.00	16.00
Tramo - 16, e=0.25m	21	-10.00	100.00
Tramo - 18, e=0.25m	27	-4.00	16.00

$$n = 4$$

$$\sum X = 124$$

Con la aplicación de la ecuación 19, resulta:  $\bar{X} = 31.00$

$$\sum (X_n - \bar{X})^2 = 456$$

Con la aplicación de la ecuación 20,  $S = 12.33$

#### 4.5.3 Prueba de hipótesis

- a. Parámetros de interés

**Tabla 52:**

*Parámetros de interés para la prueba de hipótesis de tiempos.*

Descripción		grupo 1	grupo 2
		Losa de concreto con acero tradicional	Losa de concreto con fibras FF1 de acero
Número de muestras	$n$	4	4
Media	$\bar{X}$	34.25	31.00
Desviación estándar	$S$	14.03	12.33

*Nota:* Elaboración propia.

- b. Hipótesis

$H_0$ : El concreto con refuerzo de acero tradicional tiene tiempos de ejecución significativamente mayores en comparación con el concreto con fibras de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.



$$H_0: u_1 \geq u_2$$

$H_1$ : El concreto con refuerzo de acero tradicional tiene tiempos de ejecución significativamente menores en comparación con el concreto con fibras de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

$$H_1: u_1 < u_2$$

c. Nivel de significancia

El nivel de significancia ( $\alpha$ ) para este estudio es de  $\alpha = 0.05$ , y el grado de libertad para esta prueba es de  $4+4-2=6$ , junto a la tabla del Anexo 12 se obtiene  $t_\alpha = 1.943$ . Por lo tanto, se plantea:

$$\text{Se rechaza } H_0 \text{ si: } t_p < -t_\alpha$$

$$\text{Se acepta } H_0 \text{ si: } t_p > -t_\alpha$$

d. Prueba de t de Student

Reemplazando los datos de desviación estándar y el total de muestras en la ecuación 6 se obtiene que  $S_p = 13.05$ , este valor se reemplaza en la ecuación 7 y el estadístico de prueba resulta:

$$t_p = 0.35$$

e. Conclusión

Puesto que:  $t_p > -t_\alpha$ ;  $0.35 > -1.943$ , “Se acepta” la hipótesis nula  $H_0$  lo que significa que el concreto con refuerzo de acero tradicional tiene tiempos de ejecución significativamente mayores en comparación con el concreto con fibras de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

#### 4.6 CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

Previamente, al comparar las propiedades mecánicas, se realizó el diseño de la losa industrial teniendo en cuenta dos escenarios: el primer escenario consideró que la

losa fuera de concreto con acero convencional, y el segundo escenario consideró que la losa fuera de concreto con fibras de acero FF1. El diseño realizado cumplió con todas las solicitudes que la losa industrial del depósito de concentrados del Callao requería, este diseño fue calculado en el capítulo III, en el subcapítulo 3.5 “Diseño de losas industriales” de esta investigación. Asimismo, se validó el diseño con el método TR-34 mediante el software Pave 2008.

Tras obtener los diseños de la losa industrial, se llevaron a cabo las comparaciones, que fueron el objetivo de esta investigación.

#### **4.6.1 Cumplimiento correspondiente al primer objetivo específico**

Resultados cuantificables obtenidos al comparar las propiedades mecánicas (revenimiento, resistencia a la compresión y a la flexión) del concreto sin fibra y del concreto con fibras FF1 de acero para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

Mediante la evaluación de los resultados de las pruebas realizados para este estudio, fue posible comparar las propiedades mecánicas de estos dos tipos de concreto. En primer lugar, se compararon los resultados registrados del ensayo del revenimiento del concreto sin fibra y del concreto con fibras FF1 de acero, esta comparación puede verse en la tabla 22 (ver página 106), mientras que la figura 40 muestra que la incorporación de fibras FF1 de acero al concreto hace que el valor de revenimiento disminuya hasta en un 3%, lo que significa que el concreto con fibras FF1 de acero es menos trabajable a comparación de un concreto sin fibra.

En segundo lugar, se realizó la evaluación estadística de los resultados de los ensayos a la compresión del concreto sin fibra y del concreto con fibra de acero FF1. La tabla 23 (ver página 107) muestra los resultados de las roturas realizadas en laboratorio. Se realizaron 12 muestras cilíndricas tanto para el concreto sin fibra como para el concreto





con fibras FF1 de acero. Según la figura 41 (ver página 126), la resistencia media a la compresión del concreto sin fibra fue un 19 % superior a su resistencia de diseño, mientras que la resistencia media a la compresión del concreto con fibras FF1 de acero fue un 24 % superior a la resistencia de diseño (figura 42, ver página 109). Las cifras mencionadas llevan a la conclusión de que el que el concreto con fibra es más resistente a la compresión solo en un 5 %.

Finalmente, para el logro de la comparación de la resistencia a la flexión del concreto se realizó el cuadro resumen de los resultados de los ensayos a flexión tanto para el concreto sin fibra como para el concreto con fibras FF1 de acero; en total se realizaron 18 roturas de especímenes prismáticas. Según la tabla 25 (ver página 110) la resistencia media a la flexión del concreto sin fibra fue de  $43.47 \text{ kg/cm}^2$ , sin embargo, la resistencia media a la flexión del concreto con fibras FF1 de acero fue de  $48.54 \text{ kg/cm}^2$ , como se muestra en la tabla 26. Como se muestra en la Figura 44 (ver página 110), se concluyó que la resistencia del concreto sin fibra es menor que la resistencia a la flexión del concreto con fibra FF1, siendo esta última capaz de añadir hasta un 12 % a la resistencia de diseño.

Es también importante mencionar que la aseveración de la primera hipótesis específica fue validada por la prueba de hipótesis, donde se acepta que el concreto sin fibras tiene una resistencia a la compresión significativamente menor (ver página 104) y también una resistencia a la flexión significativamente menor (ver página 107), en comparación con el concreto con fibra de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

#### **4.6.2 Cumplimiento correspondiente al segundo objetivo específico**

Comparar los costos del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibras de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.



Se logró comparar estos costos iniciando con la evaluación de los costos unitarios de las partidas más influyentes en la ejecución de cada tipo de losa de concreto. Para la losa de concreto con acero tradicional se evaluaron las partidas de “Suministro y habilitación de acero corrugado  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$  grado 60”, tabla 34 (página 121) y “concreto premezclado,  $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$  a los 7 días, cemento tipo V, para losa con acero tradicional”, tabla 35 (ver página 121) y para la losa de concreto con fibras FF1 de acero se evaluaron las partidas de “Concreto premezclado,  $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$  a los 7 días, cemento tipo V, para losa con fibra”, tabla 36 (ver página 122) y “Suministro y colocación de fibra de acero FF1”, tabla 37 (ver página 122).

Una vez evaluado los costos unitarios de las partidas mencionadas se consolidaron y analizaron los presupuestos totales según los tramos ejecutados (tramo 13, 15,16 y 18) para cada tipo de losa de concreto. En la tabla 42 (ver página 127), se obtuvo que en promedio la ejecución de una losa industrial de concreto con fibras FF1 de acero puede generar un 10 % de ahorro económico en comparación a la ejecución de una losa de concreto con acero tradicional.

Finalmente, se calcularon los costos de ejecución por  $\text{m}^2$  de losa industrial con acero tradicional y de losa industrial con fibras FF1, obteniéndose que al optar por ejecutar la losa de concreto con fibras de acero FF1 es posible ahorrar S/ 19.17 por 1 metro cuadrado de losa de 25 cm de espesor, esto se muestra en la tabla 43 (ver página 128). Es también importante mencionar que la aseveración de la segunda hipótesis específica fue validada por la prueba de hipótesis, donde se acepta que los costos del concreto con refuerzo de acero tradicional son mayores en comparación del concreto con fibras FF1 de acero para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao (ver página 130).

#### 4.6.3 Cumplimiento correspondiente al tercer objetivo específico

Comparar los tiempos de ejecución del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibras de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

Se logró comparar los tiempos de ejecución iniciando con la identificación de los cronogramas de ejecución de cada tipo de losa de concreto, en la figura 49 (ver página 131) se observa el cronograma de ejecución del tramo 13 de la muestra de estudio considerando una losa concretada con acero tradicional, y en la figura 50 (ver página 131) se observa el cronograma considerando una losa de concreto con fibra FF1 de acero.

Los cronogramas de las losas de concreto con fibras FF1 de acero se tomaron del expediente técnico del proyecto y estas fueron verificados in situ, ya que estas losas fueron ejecutadas durante el periodo de esta investigación, mientras que para el cronograma de la losa concretada con acero tradicional se consideró el rendimiento de la partida que variaba. Con la evaluación respectiva en la página 133, de los rendimientos reales de la partida de “Habilitación y colocación de acero corrugado  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ ” y la partida “Suministro y colocación de fibra de acero FF1” es que se verificó los comparativos en tiempos de ejecución de cada tipo de losa.

En la tabla 47 (ver página 132) se muestra el comparativo de tiempos de ejecución de losas de concreto acero tradicional y de losas de concreto con fibras FF1 de acero, se observa que, si la elección es la losa de concreto con fibras FF1, en promedio se puede ahorrar hasta un 9 % en tiempo de ejecución en comparación de elegir ejecutar una losa de concreto con acero tradicional. Es también importante mencionar que la aseveración de la tercera hipótesis específica fue validada por la prueba de hipótesis, donde se aceptó que los tiempos de ejecución del concreto con refuerzo de acero tradicional son mayores

en comparación del concreto con fibras FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao (ver página 136).

#### **4.6.4 Cumplimiento correspondiente al objetivo general**

Determinar la mejor alternativa al comparar las propiedades mecánicas, costos y tiempos del concreto con refuerzo de acero tradicional y del concreto con fibras de acero FF1 para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

Para cumplimiento de este objetivo se compararon las propiedades mecánicas del concreto sin fibra con el concreto con fibras de acero FF1 (ver cumplimiento correspondiente al primer objetivo específico, ver página 137), se comparó los costos del concreto con acero tradicional con el concreto con fibras de acero FF1 (ver cumplimiento correspondiente al segundo objetivo específico, ver página 138), y finalmente se comparó los tiempos de ejecución del concreto con acero tradicional con el concreto con fibras de acero FF1 (ver cumplimiento correspondiente al tercer objetivo específico, ver página 140) para las losas industriales del depósito de concentrados de Callao. Los resultados obtenidos lograron demostrar que la mejor alternativa para la losa industrial del depósito de concentrados del Callao es la losa de concreto con fibras de acero FF1, puesto que sus propiedades mecánicas mejoran en resistencia a compresión hasta en 5% y a flexión hasta en un 12%. Se puede ahorrar en costos y tiempos un 10% y 9% respectivamente.

#### **4.7 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL**

El concreto con fibras de acero FF1 es la mejor alternativa al comparar sus propiedades mecánicas, costos y tiempos con el del concreto con refuerzo de acero tradicional para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.

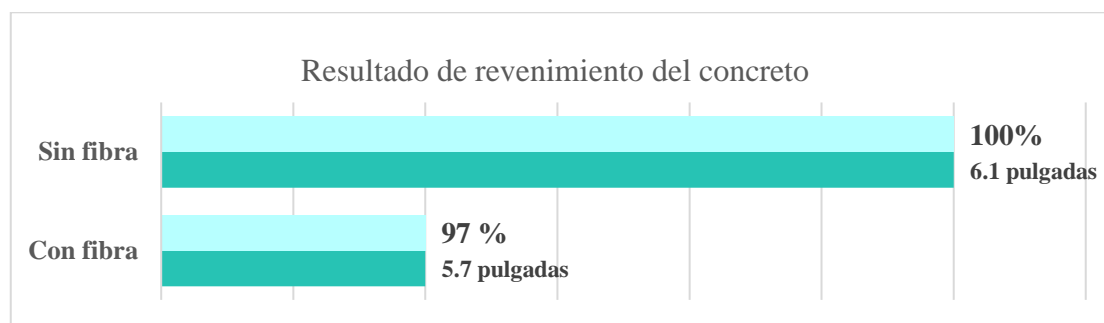
La verificación de la hipótesis general se realizó a través de cálculos estadísticos (media aritmética), validados por las pruebas de hipótesis realizadas.

Las propiedades mecánicas (revenimiento, resistencia a la compresión y a la flexión) del concreto con fibras FF1 resultaron ser más favorables en comparación del concreto sin fibra. La resistencia a flexión pudo incrementar hasta un 12 % con respecto a la resistencia a la flexión a la que llegaría un concreto sin fibra, sin embargo para la resistencia a la compresión el beneficio es casi mínima, pudiendo el concreto con fibra FF1 solo incrementar hasta en un 5%, un escenario parecido sucedió con la trabajabilidad del concreto con fibra FF1, ya que este redujo hasta en un 3% a comparación de la trabajabilidad que tiene un concreto sin fibra, no obstante la incorporación de la fibra FF1 al concreto para la losa industrial genera impactos positivos en las propiedades mecánicas, siendo menor en la resistencia a la compresión, pero si mayor en la resistencia a la flexión. En costos el ahorro pudo llegar hasta un 10 %, y en tiempos hasta un 9 %, siendo que en el depósito de concentrados Callao se pudo ahorrar por 1 m<sup>2</sup> de losa industrial 19.17 soles.

En los gráficos posteriores se muestran los resultados del comparativo de las propiedades mecánicas, costos y tiempos del concreto sin fibra y del concreto con fibras de acero FF1 para las losas industriales.

**Figura 52:**

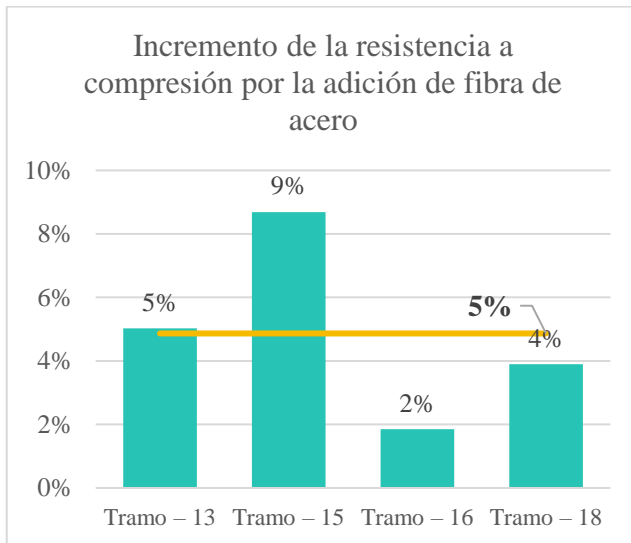
*Gráfico resultado del comparativo de revenimiento del concreto.*



*Nota:* Resultado de promedios obtenidos de la tabla 22 (ver página 106).

**Figura 53:**

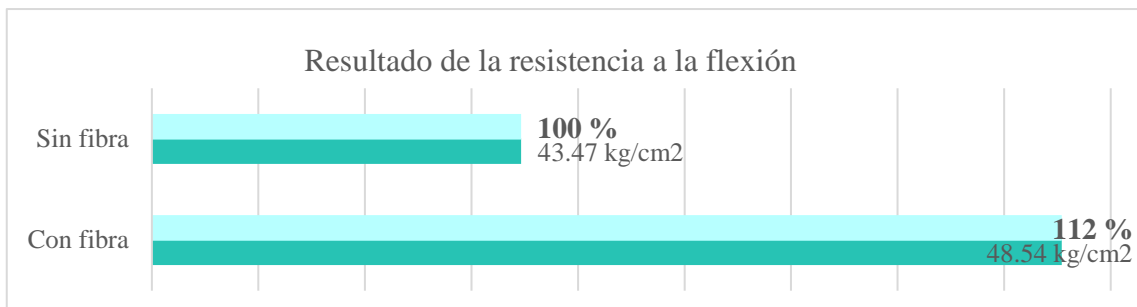
*Gráfico resultado del comparativo de resistencia a compresión.*



*Nota:* Resultado de promedios obtenidos en las tablas 23 y 24 (ver páginas 107 y 108).

**Figura 54:**

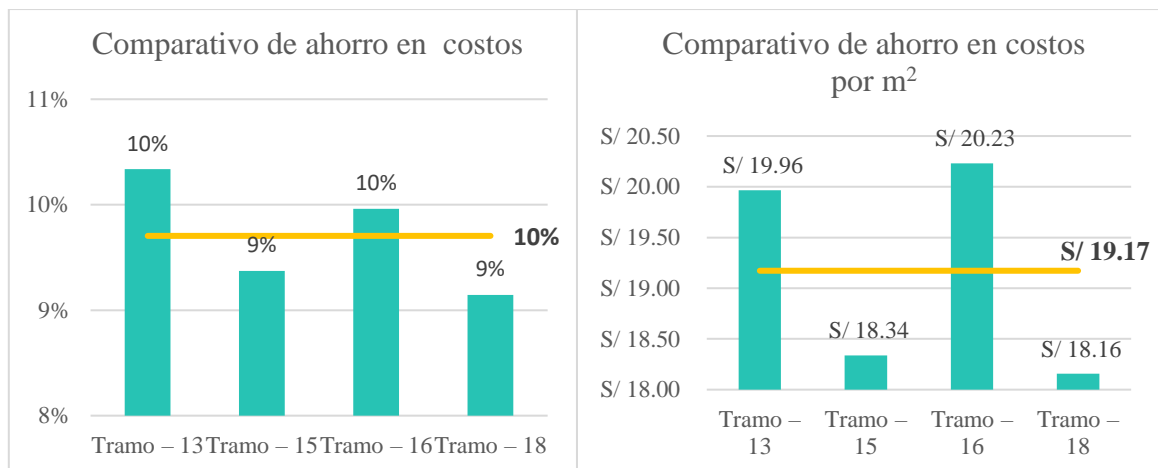
*Gráfico resultados del comparativo de la resistencia a flexión.*



*Nota:* Resultado de promedios obtenidos en las tablas 25 y 26 (ver páginas 110 y 111).

**Figura 55:**

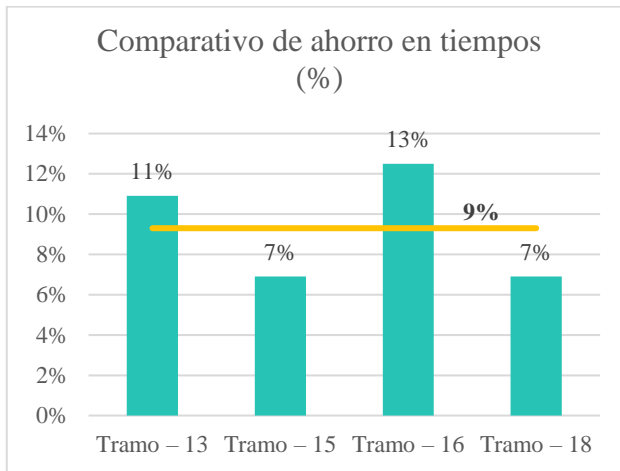
*Gráfico de ahorro en costo de una losa de concreto con fibras.*



*Nota:* Resultado de promedios obtenidos en las tablas 42 y 43 (ver páginas 127 y 128).

**Figura 56:**

*Gráfico de ahorro en tiempo de una losa de concreto con fibras.*



*Nota:* Resultado de promedios obtenidos en la tabla 47 (ver páginas 132).



## V. CONCLUSIONES

- Con base en una comparación de las propiedades mecánicas, costos y tiempos de ejecución para la losa industrial de concreto con acero tradicional y de concreto con fibras de acero FF1, se determinó que este último fue la mejor opción. Entre las propiedades mecánicas, el revenimiento disminuyó un 3%, la resistencia a la compresión aumentó un 5 % y la resistencia a la flexión aumento hasta un 12 %, todos en comparación de un concreto sin fibra. En costos y tiempos el ahorro que se generó en la ejecución de una losa de concreto con fibras de acero FF1 fue de un 9 % y 10 % respectivamente. En consecuencia, la losa de concreto con fibras de acero FF1 es la mejor alternativa para las losas industriales del depósito de concentrados del Callao.
- En este estudio se compararon las propiedades mecánicas del concreto sin fibra y del concreto con fibras de acero FF1. Se encontró que el concreto sin fibra es más trabajable, porque al adicionar la fibra de acero FF1 este disminuyó hasta en un 3 %. Al mismo tiempo la adición de la fibra de acero FF1 al concreto incrementó la resistencia a la compresión y flexión en un 5 % y 12 % respectivamente. Es así como resulta que el concreto sin fibra es más trabajable pero menos resistente a la compresión y flexión en comparación de un concreto con fibras de acero FF1.
- Mediante esta investigación se compararon los costos del concreto con acero tradicional y con fibras de acero FF1, demostrándose que una losa industrial de concreto con acero tradicional es más costosa que una losa de concreto con fibras de acero. En el depósito de concentrados Callao se logró ahorrar hasta S/ 19.17 por metro cuadrado de losas industrial en comparación con una losa de concreto con acero tradicional.





- Finalmente, en esta investigación se compararon los tiempos de ejecución de una losa de concreto con acero tradicional y con fibras de acero FF1. Se encontró que el tiempo para ejecutar una losa de concreto con acero tradicional es mayor en comparación de una losa de concreto con fibras de acero FF1. La decisión de ejecutar una losa de concreto con fibras de acero puede suponer un ahorro de tiempo de hasta un 9% respecto a una losa de concreto sin fibra.



## VI. RECOMENDACIONES

- A los propietarios de plantas industriales se recomienda usar la fibra de acero FF1 en sus pisos/losas de sus almacenes ya que por ser compañías que requieren liberar prontamente áreas, con un diseño adecuadamente realizado y el uso de las fibras de acero, pueden ahorrar tiempo y dinero.
- Dado que se ha demostrado que la adición de fibras FF1 de acero reduce la trabajabilidad, se recomienda que los diseñadores de concreto tengan esto en cuenta para que puedan aumentar la cantidad mínima de slump sin generar un perjuicio al diseño en general.
- Se recomienda el uso de las fibras FF1 en el concreto para losas industriales, pero se aclara que es solo para controlar la fisuración del concreto, mas no eliminarlas por completo. Esto se debe a que el concreto es un material variable cuyo diseño y producción determinan su fisuración.
- Para futuras investigaciones se recomienda que puedan estudiar el comportamiento de losas industriales con otros tipos de fibras, puedan ser más alargadas o de mayor diámetro, para que así se pueda buscar optimizar el precio por reparación o construcción de losas industriales.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI. (s.f.). *Acerca de American Institute Concrete*.  
<https://www.concrete.org/aboutaci.aspx>
- Arias, F. (2016). *El proyecto de investigación* (6a ed.). Caracas: Episteme.
- Ávila, A., & Buriticá, O. (2016). Análisis del comportamiento a cortante de concreto de 21mpa y 44mpa reforzado con fibras de acero. (*Tesis de pregrado*). Universidad la Gran Colombia, Bogotá.  
[https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5036/An%C3%A1lisis\\_comportamiento\\_cortante\\_concretos.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5036/An%C3%A1lisis_comportamiento_cortante_concretos.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- BarChip. (2018). Macro synthetic fibre reinforced ground slabs. (Barchip, Ed.) *Flooring Design Manual*, 60.
- Bernal, C. (2010). Metodología de la investigación. (O. Fernández, Ed.) *Administración, economía, humanidades y ciencias sociales*, 320.
- Bryan, C. (2015). Análisis de los criterios de diseño de pavimento rígido bajo la óptica de las condiciones especiales de la isla de san andres y especificaciones técnicas de la secretaria de infraestructura de la gobernación departamental. [*Tesis de posgrado*]. Universidad Católica de Colombia, Bogotá.  
<http://hdl.handle.net/10983/2975>
- Capeco. (2022). Boletín técnico Capeco Mayo 2022. *Capeco publicaciones*, 78.
- Carrillo, J., Pulido, C., & Aperador, W. (2016). Propiedades mecánicas a flexión del concreto reforzado con fibras de acero bajo ambientes corrosivos. *Revista de Ingeniería y Construcción*, 32(2), 14.  
<https://www.scielo.cl/pdf/ric/v32n2/art05.pdf>
- Córdova, C., Cuellar, L., & Guizado, M. (2012). Comparación de la resistencia equivalente. [*Tesis de pregrado*]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.



- Córdova, M., Pinedo, D., Araujo, J., & Orbegoso, A. (2019). Fibras de Acero en la Resistencia a la Compresión del concreto. *Revista Gaceta Técnica*, 20(2), 4-13.  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19787.95523>
- Costos. (2022). *Recursos Costos Perú*.  
<https://costosperu.com/PortalSuscriptores/Recursos>
- Daniel, R. (8 de febrero de 2020). *Rendimiento de Construcción y Mano de Obra 2020*.  
<https://ingdanielrg.com/rendimientos-y-mano-de-obra-2020/>
- Davids, W., & Turkiyyah, G. (2007). Devolpment of embedded bending member to model dowel action. *Journal of Structural Engineering*, 78.
- De la Cruz, W., & Quispe, W. (2014). Influencia de la acición de fibras de acero en el concreto empleado para pavimentos en la construcción de pistas en la provincia de Huamanga - Ayacucho. *[Tesis de pregrado]*. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.  
<https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/402f862a-1b76-4046-8027-d5230fd66c42/content>
- Domingues et al. (2011). Experimentación y simulación numérica de tubos de hormigón con fibras. *Materiales de Construcción*, 31(302), 275-288.  
<https://doi.org/10.3989/mc.2010.62810>
- Don Concreto. (20 de Enero de 2021). *Normas Mexicanas del Concreto en México*.  
<https://www.donconcreto.com/normas-mexicanas-del-concreto-en-mexico>
- Fajardo, C. (2018). Determinación de la capacidad de carga residual al agrietamiento en concreto reforzado con fibras macro sintéticas o fibras metálicas, para losas industriales. *[Tesis de pregrado]*. Universidad de Costa Rica, San José.  
<https://hdl.handle.net/10669/78330>



- Flores, D., & Mamani, R. (2018). Evaluación comparativa de la resistencia a la compresión y flexión del concreto normal, con fibra sika diber CHO 65-35-NB y con fibra sika fiber force PP-48. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- FTCCP. (2022). *Tabla salarial del sector construcción para el periodo 2022-2023*.  
<https://www.perucontable.com/laboral/tabla-salarial-del-sector-construccion-para-el-periodo-2022-2023/>
- Guzmán, J. (2015). Estudio técnico experimental de una placa de hormigón reforzada con fibras de acero apoyada en el suelo aplicado en obras portuarias. [Tesis de posgrado]. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.  
<http://hdl.handle.net/10251/64759>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Hernández, R; Fernández, C; Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Vol. 6ta). México: McGraw-Hill.
- Hyster. (2017). *RS46 Series technical guide*. Hyster Web site:  
<https://www.hyster.com/globalassets/coms/hyster/brazil/documents/container-handlers/technical-guide---rs46-english.pdf>
- IMCYC. (2014). Conceptos básicos del concreto. En IMCYC, *Construcción y tecnología* (pág. 7). México: Editorial IMCYC.  
[https://wiki.ead.pucv.cl/images/5/5a/Clase\\_2\\_construcci%C3%B3n\\_1\\_n%C3%A1utica\\_2015\\_Hormig%C3%B3n.pdf](https://wiki.ead.pucv.cl/images/5/5a/Clase_2_construcci%C3%B3n_1_n%C3%A1utica_2015_Hormig%C3%B3n.pdf)
- INDECOPI. (2022). *Normas Técnicas Peruanas*.  
<https://www.midagri.gob.pe/portal/comercio-exterior/icomoeexportar/importanciade-la-calidad-en-las-agroexportaciones/695->



normastecnicas-

peruanas#:~:text=El%20INDECOPI%20a%20trav%C3%A9s%20de,Informaci%C3%B3n%20y%20Documentaci%C3%B3n%20del%20INDECOPI.

Isidro, J. (2018). Influencia de la adición de fibras de acero en las propiedades del concreto empleado para pavimentos en la construcción de pistas en la ciudad de Puno. [*Tesis de pregrado*]. Universidad Nacional del Altiplano, Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9626>

Julián, C., Diego, S., & Martha, S. (2016). Desempeño de losas de concreto sobre terreno reforzadas con malla electrosoldada o fibras de acero. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(4), 499-510. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.11.009>

Maccaferri. (2007). *Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigón*. Sao Paulo.

Maccaferri. (2016). *Wirand (R) FF1: Fibras para refuerzo de hormigón*. Sao Paulo.

Montalvo, M. (2015). Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales. [*Tesis de pregrado*]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6117>

Nguyen et al. (2011). Punching shear resistance of steel fiber reinforced concrete flat slabs. *Procedia Engineering*, 1830-1837. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.230>

Novas, A., & Rojas, J. (2010). Comportamiento de losas apoyadas en suelo utilizando concreto reforzado con fibras metálicas. *Ingeniería*, 20(1 y 2), 67-80. <https://doi.org/https://doi.org/10.15517/ring.v20i1-2.7266>

Ramos, H. (2012). Aplicación de fibras estructurales a los pilotes tipo CPI 8. [*Tesis de posgrado*]. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.



[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/15822/Tesis\\_Ramos.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/15822/Tesis_Ramos.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Salsilli, R. (2013). *Manual de diseño de pisos industriales*. (I. d. Chile, Ed.) Santiago.

Shimosaka, T. (2017). Influência do teor de diferentes tipos de fibras de aço em concretos autoadensáveis. [Tesis de posgrado]. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná. <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2303>

Sika. (2014). Concreto reforzado con fibras. *Concreto*, 24. <https://col.sika.com/content/dam/dms/co01/6/Concreto%20reforzado%20con%20fibras.pdf>

Society, T. C. (2016). *TR-34: Concrete industrial ground floors*. Surrey: Concrete Bookshop.

Sotil, A., & Zegarra, J. (2015). 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 los industriales de pavimento rígido. [Tesis de pregrado]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/581616>

Toirac, J. (2004). Patología de la Construcción: giretas y fisuras en obras de hormigón. origen y prevención. *Ciencia y Sociedad*, 44.

## **NORMAS Y ESTÁNDARES**

ACI318S/318SR. (2005). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05)*. Michigan, USA: Comité ACI 318.

ACI360R-10. (2010). *Design of slabs-on-ground*. ACI Committe 360.

ACI544.1R-96. (2009). *Report on fiber reinforced concrete*. ACI Committee 544.



- ACI544.4R-18. (2009). *Design considerations for steel fiber reinforced concrete*. ACI Committee 544.
- ASTMC143/C143M-10. (2010). *Método estándar de prueba para determinar el revenimiento del concreto con cemento hidráulico*.  
[https://kashanu.ac.ir/Files/C%20143%20%E2%80%93%20C%20143M%20%E2%80%93%2003%20%20\\_QZE0MY9DMTQZTQ\\_\\_\(1\).pdf](https://kashanu.ac.ir/Files/C%20143%20%E2%80%93%20C%20143M%20%E2%80%93%2003%20%20_QZE0MY9DMTQZTQ__(1).pdf)
- NTP339.034. (2015). *CONCRETO: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. Lima:INACAL.
- NTP339.079. (2012). *CONCRETO: Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo*. Lima:INDECOPI.
- MTC. (2014). *Manual de carreteras: sección suelos y pavimentos. Sección suelos y pavimentos*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Lima.





## ANEXOS

**ANEXO 1.** Orden de compra para la ejecución de la reparación de losas industriales.

**ANEXO 2.** Autorizaciones para la investigación.

**ANEXO 3.** Esquema gráfico de resumen de reparación de losas.

**ANEXO 4.** Número de muestras para especímenes cilíndricos y primaticos de concreto basado en el reglamento ACI 318S-05 y comentario ACI 318SR-05.

**ANEXO 5.** Diseño de mezclas.

**ANEXO 6.** Estudio de suelos del proyecto Impala.

**ANEXO 7.** Cálculo del coeficiente de reacción combinado.

**ANEXO 8.** Plano de la losa industrial con acero tradicional.

**ANEXO 9.** Plano de la losa industrial con fibras de acero.

**ANEXO 10.** Resultados de ensayos a la compresión.

**ANEXO 11.** Resultados de ensayos a la flexión.

**ANEXO 12.** Tabla estadística, distribución t de Student.

**ANEXO 13.** Diseño con método TR-34.