

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL USO DE LA FIBRA
MACROSINTÉTICA SIKAFIBER FORCE-60 MEDIANTE EL
SOFTWARE SIKA®FIBER SAVE PARA LOSAS
INDUSTRIALES DE CONCRETO, TRUJILLO 2021

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Bach. Brayan Alexis Chavez Bocanegra

Bach. Kevyn Rogelio Vasquez Ruiz

Asesor:

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz

Trujillo - Perú

2021



DEDICATORIA

La presente investigación se la dedico a mis padres, quienes me brindaron su apoyo incondicional en todo momento desde que inicie la carrera y a mi familia en general por enseñarme los valores que me han servido para ser un hombre de bien, siempre serán los pilares primordiales de mi vida, siendo ejemplo de superación y dedicación ya que siempre están para aconsejarme y corregirme, también a dios por darme las fuerzas de seguir adelante, superándome y así lograr mis metas.

El presente trabajo lo dedico a mis padres y a toda mi familia, quienes me enseñaron que todo esfuerzo y sacrificio se pueden lograr grandes cosas, por el apoyo y respaldo brindado durante todos los años de formación, así como también los valores transmitidos que me siguen haciendo crecer personalmente. A mis abuelitos que ya no los tengo conmigo, pero que me enseñaron el valor de la familia y la felicidad son parte de una vida plena.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios, que por medio de él se pueden lograr grandes cosas y que nada es imposible si tienes fe, fuerza y voluntad de seguir adelante.

Agradecemos también a nuestros padres, que son pilares de nuestro crecimiento tanto personal como profesional y que gracias a ellos hemos podido a cumplir grandes metas.

Por otro lado, agradecemos a nuestro asesor, el Ing. Alberto Vásquez Díaz, el cual nos guio y apoyo con su amplia experiencia durante el desarrollo del presente estudio.

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática	12
1.2. Antecedentes de la investigación.....	17
1.3. Bases teóricas	22
1.3.1. Características de los contrapisos industriales y tipo de cargas.....	22
1.3.2. Fibras Metálicas y Macro sintéticas (Reseña Histórica del Uso de las Fibras.) ..	40
1.3.3. Generalidades y tipos de pisos	74
1.3.4. Descripción de sistemas constructivos más utilizados para losas industriales	75
1.3.5. Determinación de la tendencia del sistema de construcción de losas reforzadas con fibras.....	81
1.3.6. Costos derivados de una construcción de una losa industrial	82
1.3.7. Conceptos básicos para la reducción de los costos para losas industriales.....	85
1.3.8. Metodología de diseño para los pisos que apoyan directamente sobre terreno (Slab on Ground).....	85
1.3.9. Aplicación del Software de Diseño SIKAFIBER®SAVE	88
1.4. Formulación del problema.....	88
1.5. Objetivos.....	88
1.5.1. Objetivo general.....	88
1.5.2. Objetivos específicos	89
1.6. Hipótesis	89
1.6.1. Hipótesis general.....	89
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	91
2.1. Tipo de investigación.....	91
2.1.1. Diseño de Investigación	91
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	92
2.2.1. Población.....	92
2.2.2. Muestra	92
2.2.3. Unidad de estudio	92
2.2.4. Operacionalización de variables	92

2.2.4.1. Variable	92
2.2.5. Matriz de consistencia.....	96
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	100
2.3.1. Técnica de recolección de datos	100
2.3.2. Instrumento de recolección de datos.....	100
2.3.3. Validación de instrumento de recolección de datos.....	100
2.3.4. Técnicas de análisis de datos	101
2.3.5. Aspectos éticos.....	101
2.4. Procedimiento.....	103
2.4.1. Obtención de datos.....	104
2.4.2. Procesamiento de datos en el software	104
2.4.3. Resultados	106
2.4.4. Análisis de resultados	107
2.5. Desarrollo de la tesis.....	107
CAPÍTULO 3. RESULTADOS	113
3.1. Análisis económico.....	113
3.1.1. Parámetros de modelado de la losa industrial.....	113
3.1.2. Diseño de losa de concreto reforzado	117
3.1.3. Factores de aceptación de la losa industrial.....	131
3.2. Análisis comparativo de Costos – losa industrial.....	132
3.2.1. Losa industrial reforzada con malla electrosoldada.....	132
3.2.2. Losa industrial reforzada con fibra sintética.....	133
3.2.3. Resumen de Costos	134
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	138
4.1. Discusión	138
4.2. Conclusiones.....	140
4.3. Alcance	142
4.4. Limitaciones	142
4.5. Recomendaciones	143
REFERENCIAS.....	144
ANEXOS.....	147
ANEXO 1. Tabla de Recolección de datos	147
ANEXO 1: Plano Rack Selectivo.....	148
ANEXO 2: Plano de losa - almacén.	149
ANEXO 3: Plano de Piso de Concreto.....	150

ANEXO 4: Distribución de Racks.....	151
ANEXO 5: Corte A-A de la losa industrial.....	152
ANEXO 6: Corte B-B y C-C de la losa industrial.....	153
ANEXO 7: Resumen teórico y técnico.....	154
ANEXO 8: Costo Hora - Hombre.	155
ANEXO 9: Visualización de losa industrial.....	156
ANEXO 10: Visualización del proceso constructivo.	156
ANEXO 11: Visualización de áreas a colocar la fibra sintética.....	157
ANEXO 12: Imagen de los investigadores en obra.....	157
ANEXO 13: Imagen de los investigadores en la recolección de datos para el software....	158
ANEXO 14: Imagen de los investigadores abriendo la fibra macro sintética.....	159
ANEXO 15: Diseño y forma de la fibra macro sintética.....	159
ANEXO 16: Área donde irá el vaciado de concreto reforzado.	160

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación entre las diferentes formas de construcción de una losa industrial.	25
Tabla 2: Clasificación de fibras estructurales y no estructurales.	48
Tabla 3. Características mecánicas de las fibras.	54
Tabla 4: Espaciamiento máximo de juntas de contracción para concreto simple (m).	62
Tabla 5: Esquema de los niveles de refuerzo para una sección de concreto.	66
Tabla 6: Ventajas y Desventajas de las Macrofibras vs. Mallas electrosoldadas.	71
Tabla 7: Clasificación del tipo de pisos del ACI 302.	75
Tabla 8: Factores de seguridad recomendados por ACI - 360.	80
Tabla 9: Componentes Metodológicos.	89
Tabla 10: Operacionalización de variables.	94
Tabla 11: Matriz de consistencia.	96
Tabla 12: Información de la losa Industrial.	109
Tabla 13: Cuadro resumen de parámetros obtenidos en obra.	109
Tabla 14: Información del Concreto.	110
Tabla 15: Información de carga puntual individual de estantería (RACK).	110
Tabla 16: Información de la carga de punto doble de estantería (RACK).	111
Tabla 17: Información de la carga de punto cuádruple de estantería (RACK).	112
Tabla 18: Datos de la losa kaliwarma recibidos por el contratista.	132
Tabla 19: Análisis comparativo de costes con acero.	133
Tabla 20: Análisis comparativo de costes con fibra sintética.	133
Tabla 21: Comparativa de costos.	134
Tabla 22: Partida incluido el acero en el proyecto real.	134
Tabla 23: Partida incluido la fibra sintética en el proyecto real.	135
Tabla 24: Análisis de precios unitarios - Movimiento de tierras.	137
Tabla 25: Análisis de precios unitarios - Concreto f'c 210 kg/cm ²	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de soporte de una losa de piso.	23
Figura 2: Estanterías para tarimas (Pallet Racking).....	27
Figura 3: Influencia de la altura de almacenamiento sobre el espesor del suelo	28
Figura 4: Apilamientos en bloques sobre tarimas.....	28
Figura 5: Alabeo típico de una losa.	31
Fuente 6: Comportamiento de losas de concreto bajo cambios térmicos.	31
Figura 7: Esquema de evaporación, trayectoria de exudación y esfuerzos de contracción.	32
Figura 8: Agrietamiento del concreto restringido por contracción por secado.....	33
Figura 9: (a) Agrietamiento por contracción plástica, (b) Agrietamiento por contracción por secado.....	33
Figura 10: Movimientos de la humedad en el concreto.....	34
Figura 11: Contracción y agrietamiento.	35
Figura 12: Juntas de losas de concreto.....	35
Figura 13: Juntas de contracción.....	37
Figura 14: Tipo de juntas de construcción.....	37
Figura 15: Juntas de expansión.....	38
Figura 16: Estabilidad de levante de los equipos de carga de pisos industriales.	39
Figura 17: Control de micro fisuras y macro fisuras.	42
Figura 18: Expone la relación Carga vs Deflexión para concreto con fibras.	43
Figura 19: Diagrama de esfuerzos-deformación del concreto fibroreforzado (FRC).....	44
Figura 20: Relación Carga vs Deflexión de una vida sometida a impacto (a diferentes velocidades).	44
Figura 21: Alineación de las fibras.	47
Figura 22: (a) Representa el mecanismo de Punteo, (b) Representa el control de la micro fisura y la macro fisura.	47
Figura 23: Principales tipos de fibras de acero.	50
Figura 24: Curva típica Carga vs Deformación en concreto reforzado con fibras.	51
Figura 25: Tipo de fibras de polipropileno.	52
Figura 26: Fibras de vidrio.....	53
Figura 27: Microfibras.	55
Figura 28: Tipo de Macrofibras.	57
Figura 29: Comportamiento del concreto reforzado con fibras metálicas.....	58
Figura 30: Curva de Carga vs Desplazamiento para concreto reforzado (a) Bajo contenido de fibras, (b) Alto contenido de fibras.	59
Figura 31: Esquema de probeta para ensayo a tracción indirecta.....	60
Figura 32: Malla Electrosoldada reemplazada por Macrofibras.....	64
Figura 33. La Malla Electrosoldada y varilla de refuerzo proporcionan un control de fisuración de dos dimensiones, mientras que las Microfibras sintéticas generan un refuerzo tridimensional en el concreto, que da como resultado mayor efectividad y grietas más delgadas.....	65

Figura 34: Relación Carga vs.Deformación de 4 placas que se cargan paulatinamente con un gato hidráulico cuya deformación se mide como la deflexión bajo el elemento en el centro de la luz.....	68
Figura 35: En términos de tenacidad, muestra el material más tenaz, el cual tiene 7 kg/m ³ , la cual encierra la mayor área bajo la curva.....	68
Figura 36: Ensayo de Carga Residual por el EN 14651	70
Figura 37: Interrelaciones aproximadas de clasificaciones de suelos y valores de carga. (Nota: 1psi/pul.=0.271 kPa/mm; 1 psi = 6.90 kPa).....	105
Figura 38: Muestra del tipo de suelo: Calicata 2 y 3	108
Figura 39: Información de rack.....	111
Figura 40: Información de rack.....	111
Figura 41: Información de rack.....	112
Figura 42: Información del proyecto en el software.	113
Figura 43: Información de la losa.	114
Figura 44: Losa industrial sika - información concreta.	115
Figura 45: Información de carga individual.....	115
Figura 46: Información de carga doble.....	116
Figura 47: Información de carga.....	116
Figura 48: Información general de la losa industrial.	117
Figura 49: Información de subrasante.....	117
Figura 50: Información de fibra.	118
Figura 51: Cantidad de fibra.	118
Figura 52: Relación de flexión equivalente.	118
Figura 53: Información de carga de un solo punto.	119
Figura 54: Materiales y factores de carga.	119
Figura 55: Radio de rigidez relativa.....	119
Figura 56: Área de contacto de carga.	120
Figura 57: Cálculo de momento.....	120
Figura 58: Carga permitida para un solo punto.	121
Figura 59: Carga permitida.	121
Figura 60: Relación de flexión equivalente.	122
Figura 61: Información de carga de punto adyacente.....	122
Figura 62: Materiales y factores de carga.	122
Figura 63: Radio de rigidez relativa.....	123
Figura 64: Área de contacto de carga.	123
Figura 65: Cálculo de momento.....	123
Figura 66: Carga admisible para carga puntual adyacente.	124
Figura 67: Carga admisible.....	125
Figura 68: Relación de flexión equivalente.	125
Figura 69: Información de carga de cuatro puntos.	126
Figura 70: Materiales y factores de carga.	126
Figura 71: Radio de rigidez relativa.....	126

Figura 72: Área de contacto de carga.	127
Figura 73: Cálculo de momento.....	127
Figura 74: Carga permitida para carga cuádruple.....	128
Figura 75: Carga de corte de punzonado aplicada en la cara.....	128
Figura 76: Carga de corte de punzonado aplicada en la cara.....	129
Figura 77: Cargas permitidas en la cara.....	129
Figura 78: Carga de corte por punzonamiento aplicada en el perímetro crítico.....	130
Figura 79: Carga de corte por punzonado permitida en el perímetro crítico.	130
Figura 80: Punzonado permitida en el perímetro crítico.	131
Figura 90: Factores de seguridad para losa de espesor 20 cm.	131

RESUMEN

Los pisos de concreto en el sector industrial están sometidos a aplicaciones de cargas. De tal manera, se afirma que, debido a estas cargas, se genera un agrietamiento del piso. Por tal razón, se han utilizado 2 técnicas de refuerzo donde cada una se utiliza bajo especificaciones técnicas del pavimento a realizar. La primera y con mayor costo directo, tanto en el tiempo, como en lo económico, es el refuerzo con malla electro-soldada. Por otra parte, se encuentra la solución con macro fibras de polipropileno que tienen un refuerzo tridimensional con incremento de la tenacidad del concreto y sobre todo permite un ahorro considerado en el costo directo del proyecto.

Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis económico del uso de macro fibras sintéticas SIKAFIBER FORCE-60 mediante el software SIKAFIBER SAVE para losas industriales, como refuerzo en reemplazo de la malla electro-soldada.

En esta investigación se utilizó un diseño no experimental, descriptiva, el muestreo fue teórico, la recolección de datos se realizó con la observación, el instrumento utilizado fue fichas de recolección de datos, los cuales fueron proporcionados por la empresa ONDAC S.R.L. para el análisis de datos se empleó la estadística descriptiva a través del software SIKAFIBER SAVE, donde se obtuvo la dosificación óptima de fibras de 3 kg/m³, para una carga específica de 50 kN, espesor de 0.15 m y calidad de concreto con $f'c=210$ kg/cm². Por último, se estima un porcentaje de ahorro del 55.48% para la construcción de losas industriales para fines de almacenes y oficinas administrativas de la empresa ONDAC S.R.L., de esta manera, se desarrolla el análisis económico y se encuentra la solución apropiada para la losa de concreto industrial antes mencionada.

Palabras clave: Pisos industriales, Macro fibras sintéticas, Diseño de losas industriales.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Según Orozco, Ávila, Restrepo & Parody (2018), el concreto es uno de los materiales de construcción más utilizados a nivel regional y mundial, involucrando en su uso diferentes aplicaciones. Además, presenta 2 características básicas: en primer lugar, esta su versatilidad y trabajabilidad, debiendo en ambos, conocer las cantidades de material a mezclar para obtener un concreto apropiado; en segundo lugar, el concreto debe cumplir con los requisitos en dos estados, el fresco y el endurecido, donde el primero proporciona consistencia y cohesión, y en el segundo ofrece resistencia y durabilidad. Además, O'Reilley, Bancrofft & Ruiz (2010), mencionan que el concreto es el material fundamental de la construcción, sus tecnologías de aplicación, tienen una repercusión directa en la vida útil de la obra en la que es utilizado, así como acción depredadora en el medio ambiente, en la que se empleen.

Según Zerbino, Giaccio & Pombo (2016) indica que el concreto aparte de ser uno de los materiales más utilizados en todo el mundo, destaca por varias cualidades: como resistir la acción del agua sin un serio deterioro y permite moldear elementos estructurales con gran variedad de formas y tamaños; no menos importante es que representa el material más económico y comparado con otros materiales, requiere menores insumos de energía. Además, puede incorporar grandes cantidades de desperdicios o subproductos, lo que, considerando aspectos ecológicos, lo hará cada vez más atractivo en el futuro. No obstante, Wolf de Goes, Pucharelli, Pimentel & Paganelli (2016) reconocen que el concreto presentan algunos problemas y preocupaciones, como son las grietas. Por este motivo, en los últimos años, se ha estudiado la adición de nuevos materiales al concreto, como fibras, aditivos entre otros. Con la finalidad de obtener nuevos elementos

estructurales y formas, que serán de alto rendimiento y sostenibles. Asimismo, Souza (2019), nos dice que el concreto ha sufrido diversas innovaciones. Y menciona que, aunque los registros históricos demuestren que los romanos ya utilizaban crines de caballo para reducir las fisuras y grietas de sus estructuras, la incorporación de fibras naturales, metálicas (de acero), sintéticas (polímeros) y minerales (carbono o vidrio) en la mezcla del concreto, son una alternativa eficiente para actuar en el concreto para poder controlar las grietas debido a la retracción plástica y el secado, además de reducir la permeabilidad del concreto. Por tal razón, la aplicación del concreto reforzado con fibras se asocia fuertemente a obras de infraestructura de saneamiento básico y transportes, como pavimentación y túneles, además de suelos rígidos, pisos industriales, contención de laderas y refuerzo estructural.

El manual de ICH (2013) nos dice que los pisos de concreto, sean éstos industriales o comerciales, deber ser diseñados y construidos sin olvidar los aspectos económicos a los que se encuentran ligados, por ejemplo, se sabe que partes de un piso puede estar destinado al almacenamiento de pallets en racks o sistemas de estanterías con cargas puntuales, cargas distribuidas a piso y condiciones de carga de pasillo, mientras que otras están destinadas a vías de circulación de los diversos equipos de transporte. Entre los que se distinguen cargas vehiculares, montacargas, grúas horquilla, etc. También, Ángel y Prieto (2014) señalan que los pisos industriales están expuestos a una variedad de cargas como los son las cargas puntuales que se propagan a través de los soportes de máquinas o estructuras de almacenamiento, cargas uniformemente distribuidas, aplicadas directamente sobre la superficie de la losa de concreto.

Por otra parte, estudios como los de ARGOS (2020) y en el manual CEMEX (2008) dicen que los pisos de concreto en el sector industrial son superficies capaces de soportar

situaciones de cargas y/o desgastes de gran magnitud, generalmente asociada a alguna actividad dentro de un establecimiento industrial. Por otra parte, García y Quesada (2012) mencionan que los pisos industriales de concreto, no sólo resisten las cargas por flexión, por tráfico y especificaciones de trabajo, si no que soportan inicialmente la contracción por secado del concreto, al igual que la contracción y expansión por efectos térmicos e incluso ataques químicos, generando diferentes problemas en el piso del concreto, como por ejemplo: reducción en sus propiedades físicas mecánicas, fisuración, alabeo y desnivelación entre las losas. Sin embargo, Sika (2014) menciona que la fisuración que es así un mal que ha aprendido a convivir como lo demuestra el caso de los pavimentos donde se controla anticipándose a las fisuras, con las juntas; que son como se ha dicho, fisuras controladas. Las juntas son los lugares donde las placas tienen el espacio para llevar a cabo los cambios dimensionales sin mayor restricción. Estos cambios son producidos principalmente por la retracción del material en el tiempo (Horizontal), por las dilataciones y contracciones de origen hídrico y térmico (alabeo, giro, horizontal-vertical) y por los movimientos verticales y horizontales producidos por las cargas. Y debido a estos cambios descritos anteriormente, en el manual de ICH (2013) nos dice que el concepto básico del diseño de un pavimento de concreto reforzado es el control del ancho de grieta de retracción entre juntas. El refuerzo normalmente consiste en barras de acero, mallas de acero electro soldadas, fibras metálicas o sintéticas. Donde las barras y mallas deben colocarse a una profundidad igual a $1/3$ del espesor de la losa.

Este refuerzo se utiliza para controlar la abertura de las grietas. Sin embargo, para losas con altos niveles de tensiones en la armadura, pueden resultar en anchos de grietas excesivos. Debido justamente a las dificultades de eficiencia en el destino final de estos refuerzos secundarios, hizo su irrupción en el concreto el uso de las fibras. Es por esto

que Salvador & Figueiredo (2013) hablan que la incorporación de fibras en mezclas cementosas promueve una mejora significativa en varias propiedades mecánicas, con énfasis en la tenacidad a la flexión y la resistencia a la fatiga y al impacto. Asimismo, Según el ACI 544 y ASTM C 1116, clasifican las fibras en base a su composición (acero, vidrio, sintéticas y naturales). Actualmente las fibras de mayor aplicación en la construcción son las fibras de acero y las sintéticas. Por su funcionalidad, las fibras se clasifican en: Microfibras y Macrofibras. Según Mendoza, Vásquez & Villa (2014) aluden que el refuerzo con fibras de acero o macrofibras sintéticas pueden constituir un método conveniente, práctico y económico de superar estas deficiencias, en particular en aplicaciones donde el refuerzo convencional con barras de acero se requiere por cambios volumétricos del concreto. Sin embargo, el concreto necesita un mejor refuerzo que el tradicional. Por consiguiente, las macrofibras sintéticas es la tecnología de reforzamiento que crece más rápido en la industria del concreto. Es por eso, que la revista contratistas (2017) habla que las macrofibras sintéticas para el concreto permiten un refuerzo de forma multidireccional, mejorando las condiciones mecánicas y reduciendo grietas en estado plástico y endurecido. Además, Argos (2020) y Sika (2014) mencionan que las macrofibras son materiales como acero, vidrio, materiales sintéticos o naturales, los cuales se utilizan como refuerzo distribuido en todo el espesor del elemento y orientado en cualquier dirección. Estas fibras actúan como malla electrosoldada y varillas de refuerzo, incrementando la tenacidad del concreto y agregando al material capacidad de carga posterior al agrietamiento. Entre otros beneficios del uso de concreto reforzado con fibras es incrementar la resistencia al impacto y a la fatiga.

Debido a la diferencia de las microfibras, las soluciones estructurales secundarias de las macrofibras son más complejas de establecer y tienen aplicaciones específicas más

reconocidas como lo son el concreto lanzado y los pisos industriales, haciéndolo uno de los materiales con mayor eficiencia en dichos campos de la ingeniería. Por lo anterior, es natural la idea de buscar nuevos sistemas ahorradores de energía y materias primas en la producción de nuevos materiales y técnicas de construcción que representan soluciones a las exigencias de conservación del medio ambiente en la industria de la construcción y su tecnología a nivel mundial; de modo que las numerosas investigaciones científicas sobre estos materiales de construcción y las nuevas normas internacionales, están trazando el camino para el desarrollo de novedosas tecnologías.

Es por este motivo que el tipo de concreto fibroreforzado, es diseñado para elementos sometido a cargas de tracción y flexión como lo son las losas industriales en donde se requiere su aporte de resistencia. Es por eso que, las macrofibras al ser agregadas a la mezcla de concreto ayudan con el incremento de la resistencia a la flexión post-fisuración.

Si bien se sabe que en la actualidad el trabajo que lleva la colocación de malla electrosoldada empleada como refuerzo secundario en placas sobre terreno (pisos y pavimentos) tienen algunas limitaciones en cuanto a que su colocación es dispendiosa (tiempo y mano de obras), a diferencia de la fibra, que se aplica en el proceso de elaboración del concreto como un componente más, de esta manera podremos optimizar el tiempo y mejorar la planificación de una obra. Es por tal motivo que, en el análisis económico, se demostrará que tan beneficioso es la incorporación de macrofibras sintéticas en losas industriales. A través de resultados obtenidos mediante el software Sika Fiber SAVE, estableciendo numéricamente las variaciones que se obtuvieron, examinando que tan factible y recomendable es en la ingeniería la construcción de pisos industriales.

1.2. Antecedentes de la investigación

Arboleda, G. (2018) en su investigación de título “Estudio de factibilidad técnica y económica para la elaboración de concreto, reemplazando la malla electro soldada por fibras sintéticas”, donde su objetivo fue plantear una solución factible, mediante un análisis técnico y económico para la elaboración de concreto reforzado reemplazando la malla electro soldada por fibras sintéticas, logrando obtener resultados con eficiencia de los concretos modificados con fibras sintéticas respecto al concreto convencional, donde se evidencio considerablemente mayor resistencia y cierta factibilidad económica que genera el uso de esta tecnología, donde se encontró una disminución de hasta un 28% de costos del uso de fibras sintéticas respecto a las malla electrosoldadas.

Córdoba, C. (2015) en su investigación de título “Análisis comparativo teórico y económico, entre fibras sintéticas y de acero, utilizadas como refuerzo en las losas de concreto apoyadas sobre suelos” presentó su objetivo basado en parámetros obtenidos de pruebas experimentales, entre las fibras sintéticas y las de acero, utilizadas como refuerzo en losas apoyadas sobre el suelo; con el propósito de satisfacer y mejorar las propiedades para las cuales se utiliza el refuerzo tradicional en este tipo de losas. Donde concluyo que las soluciones de diseño con fibra realizadas por medio del enfoque plástico, son económicamente más factibles que cualquiera de las soluciones realizadas por medio de enfoques elásticos (diseños convencionales), donde pueden tener diferencias significativas en el costo del proyecto, algunos diseños de doble malla de acero, pueden incurrir en un gasto adicional hasta un 31% del costo total de la losa.

Fajardo, C. (2018) en su investigación titulada “Determinación de la capacidad de carga residual al agrietamiento en concreto reforzado con fibras macro sintéticas o fibras metálicas, para losas industriales” tuvo como objetivo estudiar el comportamiento

mecánico del concreto reforzado con fibras macro sintéticas o fibras metálicas en losas industriales bajo cargas monotónicas. Dando a conocer la implementación de fibras en el concreto para solucionar los problemas de agrietamiento. Sin embargo, según el tipo de fibra a emplear, el concreto adquiere ciertas capacidades. Por un lado, se encuentra las microfibras que se encargan de prevenir las fisuras del concreto en estado fresco, ya que una vez endurecido el concreto, su resistencia será superior a aquellas que puedan aportar las microfibras, por lo que después del endurecimiento del concreto dejarán de trabajar. Por tal razón, se vuelve necesario el empleo de las macro fibras. Por tal motivo, se realizó pruebas en concreto con módulo de ruptura de 35 kg/cm² para todos los especímenes y empleando 2 fibras sintéticas y 1 metálica, que corresponden a TUF STRAND SF a 2.5 kg/m³ y 4 kg/m³ de dosificación, Ruredil XFiber-54 a 2 kg/m³ y 5 kg/m³; y Dramix 3D 80/60 BG a 10 kg/m³ y 25 kg/m³, también se realizó un diseño de una losa con refuerzo tradicional mediante el método elástico y una losa reforzada con fibras, obteniendo como resultados que para las dosificaciones menores de fibra sintética (2.5 kg/m³ de TUF STRAND y 2 kg/m³ de Ruredil XFiber-54) no se alcanzó el porcentaje residual mínimo requerido de 30%, pero para la dosificación baja de fibra metálica si se alcanzó a un valor de 30.55%, sin embargo se estableció que para alcanzar el 30% de porcentaje residual se debe emplear como mínimo 3.25 kg/m³ de Ruderil XFiber-54, 10 kg/m³ de Dramix 3D 80/60 BG y 3 kg/m³ de TUF STRAND SF. Por otro lado, también se comprobó que, empleando fibras en el diseño, se puede reducir el espesor de la losa. En el caso de TUF STRAND se logró una reducción del 25% empleando 4 kg/m³ de fibra. Sin embargo este porcentaje 25% es equivalente a una losa con 5 kg/m³ de Ruderil XFiber-54 a nivel de diseño. A todo ello se pudo concluir que el empleo de fibras como refuerzo permite el ahorro de materiales y mano de obra, por lo implica ventajas económicas.

Meza, A. (2015) en su tesis titulada “Optimización del concreto reforzado con fibras de acero y polipropileno en pisos industriales, basado en análisis experimental y numérico” cuyo objetivo fue analizar la optimización del empleo del concreto reforzado con fibras de acero y polipropileno en diferentes dosificaciones para el uso en losas industriales, estudiando la interacción con el suelo en diferentes terraplenes, buscando tanto un rendimiento mecánico como de costo. Lo que conllevó a brindar un adecuado soporte a la aplicación de cargas, incluyendo personas, montacargas y diversos objetos. Ya que tales aplicaciones provocan las grietas en pisos de concreto por esfuerzos de tensión que exceden la resistencia del concreto, así como también la falla por la repetición de cargas, a lo que se le conoce como fatiga y que se manifiesta con el agrietamiento. Por esta razón se realizó un estudio de optimización, utilizando herramientas numéricas y estadísticas con parámetros que influyen en las respuestas mecánicas del concreto reforzado con fibras. En donde la optimización se basó en dos etapas: la primera se encargó del estudio de las características de las fibras y su dosificación en la resistencia, basado en ensayos de flexión y compresión; en la segunda, se investigó factores como la rigidez del suelo, espesor de losa, dosificación de fibras y localización de la carga, en la resistencia y agrietamiento de la interacción piso-suelo. Por lo que se concluye experimentalmente que la resistencia post-agrietamiento y costo, las fibras que mostraron un mejor desempeño, son la fibra de acero con ganchos en los extremos, con una relación de aspecto de 66.66; mientras que la fibra de polipropileno ondulada con una relación de aspecto de 75.75. Estas fibras fueron ensayadas con dosificaciones de 20, 30 y 40 kg/m³ y 2.125 kg/m³, 4.250 kg/m³ y 6.375 kg/m³ respectivamente. Acorde con estas dosificaciones, el comportamiento fue similar en su comportamiento mecánico. Por otra parte, se concluye numéricamente que un estudio comparativo entre el costo del piso de

concreto reforzado con fibras y otro convencional, indica que una dosificación de 20 kg/m³ de fibras de acero Dramix, tiene un costo similar al del refuerzo con malla de diámetro de 10 mm y con una separación de 6x6 cm; pero menor en 13% al costo relativo por el empleo de varilla de 10 mm de diámetro, con separación de 20 cm. Por otro lado, un piso con fibras sintéticas Euclid en 2.1 kg/m³ tiene un costo menor a todos los refuerzos antes mencionados.

Montalvo, M. (2015). En su investigación “Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales” Tuvo como objetivo comparar de manera teórica las propiedades mecánicas del concreto sin refuerzo con el reforzado con fibras de acero, así como también comparar los precios unitarios en la ejecución de un proyecto real optimizando recursos y ejecución. En tal sentido se concluye que las fibras tienen ventaja con respecto a losas de concreto simple, ya que son las que dan mayor resistencia a solicitaciones de carga durante su vida útil y en el tema económico el pavimento fibroreforzado por tener menor espesor que el pavimento tradicional conlleva a la cantidad de concreto sea menor donde de esta manera se ahorra tiempo y dinero.

Sotil, A., Zegarra, J. (2015) en su tesis titulada “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”. Cuyo objetivo fue realizar una comparación analítica en el comportamiento mecánico (flexión, compresión, tenacidad) del concreto sin refuerzo respecto al concreto reforzado con fibras Wirand FF3 y la fibra de acero Wirand FF4 y buscar la optimización económica-técnica teniendo en conocimiento los porcentajes de mejora en las diferentes propiedades del concreto reforzado. Donde se obtuvo como resultados en el ensayo de resistencia a compresión de un concreto ($f'c =$

280 kg/cm²) que la variación porcentual de las fibras en el concreto está dada según el valor teórico para la resistencia según las edades del concreto, considerando 70%, 85 y 100% a 7, 14, 28. Y la adición de fibras al concreto genera resistencia inicial a la compresión en un 30%. Sin embargo, esta se va estabilizando hasta llegar a una resistencia del 15% para la fibra Wirand FF3 y 5% para la fibra Winrand FF4, a los 28 días. Asimismo, en el ensayo de flexión, el aumento a la resistencia a la flexión y flexión equivalente (aporte de la fibra), está dado por las características de la fibra y dosificación, obteniendo valores de resistencia a la flexión de 4.26 Mpa y 4.67 kg/m³ con la fibra Wirand FF3 con una dosificación de 20 kg/m³ y 25 kg/m³ respectivamente. Además, presenta una resistencia a la flexión equivalente con una carga máxima aplicada de 3385.80 kgf y 3721.60 kgf respecto a un concreto sin refuerzo que solo posee 2904.80 kgf. Mientras que la fibra FF4 presenta valores de resistencia a la flexión de 4.40 MPa para una dosis de 20 kg/m³ y 5.57 MPa para 25 kg/m³ y una carga máxima aplicada para cada dosificación de 3677.60 kgf y 5128.01 kgf. Finalmente, en el ensayo de tenacidad se observó que la resistencia equivalente promedio (Re3) para un concreto reforzado con fibras Winrand FF3 fue de 52.42 % para una dosis de 20 kg/m³ y 69.34 % para 25 kg/m³. La fibra Winrand FF4 fue de 60.99% y 72.90% para las dosis de 20 kg/m³ y 25kg/m³ respectivamente. Con respecto al comparativo económico entre el sistema convencional de pavimentos reforzados con parrillas de acero y pavimentos fibroreforzados, diseñado con 20 kg/m³ de FF3 se pudo identificar un ahorro del 53% respecto al refuerzo de acero y 8% con respecto al concreto. Siendo valores referentes por m² de losa a proyectar.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Características de los contrapisos industriales y tipo de cargas

En la actualidad y con el pasar del tiempo las grandes industrias han tenido un crecimiento muy notorio, el cual tienen grandes necesidades de transportar muchos materiales de un lugar a otro, quizás sin importar las cargas excesivas para los pavimentos, donde estos vehículos son los que transmiten las cargas a través de sus ruedas y ejes a los pisos industriales por ciclos repetitivos.

Básicamente los pisos industriales son superficies fabricadas para soportar condiciones excedentes a cargas que los pisos comunes no resistirían. Por otro lado, estos están diseñados para ser durables bajo circunstancias rudimentarias, así como lo es el alto tránsito de cargas pesadas, la exposición a componentes químicos o agentes contaminantes, junto a los cambios de temperatura. Seguido a ello sus características varían de acuerdo a los requerimientos de cada industria.

(Blanco, 2008)

1.3.1.1. Características de los pisos industriales

Los pisos industriales, presentan las siguientes características:

- Resistencia mecánica
- resistencia al impacto
- impermeabilidad
- superficie anti polvo
- resistencia abrasión
- tecnología y alto desempeño a la industria

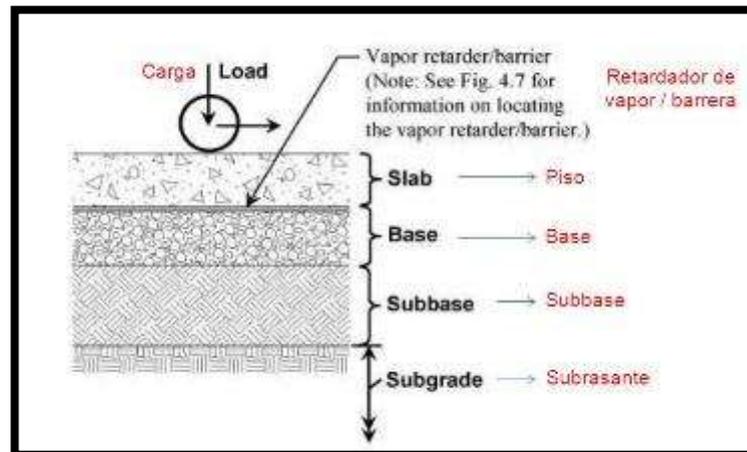


Figura 1: Sistema de soporte de una losa de piso.

Fuente: ACI Commitee, 360, 2010

1.3.1.1.1. Losa de concreto

Las losas, son componentes estructurales, que tienen una importancia muy grande en las edificaciones, en las que las fuerzas son perpendiculares al plano principal, es decir derechas, y se encuentran dominadas por la flexibilidad, esto es básicamente lo que una losa significa. Es por ello que estas deben estar confeccionadas con materiales, y mano de obra de excelencia, ya que un error podría causar el colapso de toda la edificación.

El ACI 360R, menciona los siguientes tipos de losas:

- Losa sin refuerzo: Esta no cuenta con ningún tipo de refuerzo y es sumamente sencilla, pero se vuelve más susceptible al sufrir curvaturas, pero es muy económico.
- Losa reforzada: Es básicamente para controlar el ancho de las grietas que pueden ser provocadas por contracción, cambios de temperatura y cargas aplicadas, estas se clasifican en refuerzo continuo y el refuerzo no pre-esforzado.

- Losa reforzada para prevención de grietas: Se da por la retracción compensada, así como también pos-tensada, estas se diseñan para que no sufran ciertos tipos de agrietamiento a excepción de algunas de menor tamaño. Seguido a ello su diseño de la losa de retracción compensada conlleva a un diseño sin refuerzo a nivel de material cementicio para que de esta manera compense los cambios volumétricos del elemento cuando endurece.
- Losas estructurales: Son las que transmiten cargas laterales y verticales de los elementos hacia el cimiento, de no hacerse un buen diseño, podría presentar grietas de tamaño inaceptable y podría ser muy costosa.

1.3.1.1.2. Capas granulares

Este punto consiste en el suministro, transporte, colocación, humedecimiento o aireación, extensión y conformación, compactación y terminado de material granular aprobado de base o subbase granular, donde estas son de gran importancia los cuales deberán ser medidas por pruebas Proctor modificado con un porcentaje de compactación de 90 a 95% de densidad seca, seguido a ello sobre una superficie preparada, en una o varias capas, el cual formará parte de la estructura de un pavimento; de acuerdo con lo indicado en el diseño dentro de expediente del proyecto.

1.3.1.1.3. Sub rasante

De la calidad de ésta depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de

esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito.

A través del tiempo y en la búsqueda de encontrar soluciones, que permitan mejorar el desempleo del piso en el sector industrial, se presenta al concreto sin refuerzo como el primer elemento dispuesto en las áreas industriales, que posteriormente se aplicaron los concretos reforzados con varillas y los reforzados con fibras. En la siguiente Tabla 1 se presenta ventajas y desventajas de estos concretos.

Tabla 1: Comparación entre las diferentes formas de construcción de una losa industrial.

Fuente: (ACI, 2010)

Tipo de losa de concreto	Ventajas	Desventajas
Sin refuerzo	Es simple de construir	Requiere de juntas de separación muy cercanas
	Menos costosa	
Con refuerzo de varilla de acero	Se reduce la separación en juntas	Tiene un alto costo
	Requiere de un menor mantenimiento	Se produce pequeños agrietamientos
	Se reduce la deformación	
Reforzado con fibras de acero	Incrementa la resistencia al impacto y fatiga	Las fibras pueden quedar expuestas en la superficie de la losa
	Disminuye el tiempo de construcción	La humedad puede degradar a las fibras

Reforzado con fibras sintéticas	Reduce la contracción plástica	Las micro fibras requiere de la misma separación de juntas que las losas de concreto sin refuerzo
	Disminuye el tiempo de construcción	
	Las macro fibras proveen resistencia al impacto y fatiga	

Fuente: (ACI, 2010)

1.3.1.1.4. Barrera de vapor

El uso de barreras de vapor bajo la losa es el mejor método y la solución más económica para controlar la migración del vapor de agua a través de las losas de concreto. El problema de aditivos y materiales aplicados tópicamente no resuelve el problema de que el concreto se agrieta ni el potencial de niveles elevados de pH.

1.3.1.2. Solicitaciones de carga en pisos industriales

Las solicitaciones de cargas en estos tipos de pisos son muy particulares, ya que no solo están expuestos a cargas por flexión, sino también a cargas de tránsito, así como efectos del medio ambiente como lo son el efecto de contracción por secado, expansión, contracción y temperatura.

El ACI 360R (2010), establece 7 diferentes tipos de cargas a las que se ven expuestas este tipo de pisos:

- Cargas concentradas
- cargas lineales
- cargas distribuidas

- cargas de rueda de vehículos
- cargas de construcción
- cargas inusuales
- efectos ambientales

1.3.1.2.1. Cargas de rueda de vehículos

Las losas de pisos se encuentran sometidas a varios tipos, tamaños y magnitudes de carga de rueda. Las cargas de grúas horquilla es un ejemplo frecuente de este tipo de cargas.

1.3.1.2.2. Cargas concentradas

Este tipo de carga puede ser más exigente que las cargas de rueda. El procedimiento del diseño de la losa para este tipo de carga es el mismo que el utilizado para la carga de rueda. Considera también la proximidad de los apoyos de las estanterías a las juntas. Las tensiones en las placas de apoyo deben verificarse según el ACI 318.

Estas cargas provienen de cualquier equipo o estructura que tenga columnas con platos de carga.



Figura 2: Estanterías para tarimas (Pallet Racking)

Fuente: Concrete Society, 2014

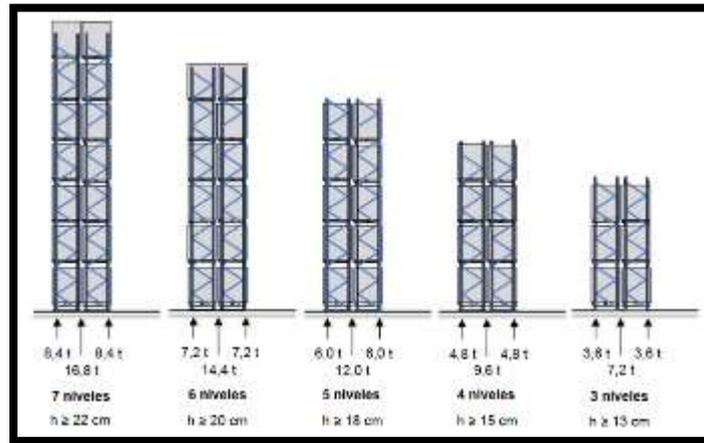


Figura 3: Influencia de la altura de almacenamiento sobre el espesor del suelo

Fuente: ICH 2013

1.3.1.2.3. Cargas uniformemente distribuidas

En este tipo de cargas se refiere a cargas distribuidas a ambos costados de un pasillo, donde se requiere conocer el ancho de la misma y su carga distribuida.



Figura 4: Apilamientos en bloques sobre tarimas.

Fuente: Concrete Society, 2014

1.3.1.2.4. Cargas lineales

Estas son las que actúan sobre un área relativamente estrecha y se da cuando el ancho de la carga es menos que $1/3$ del radio de rigidez relativo a la losa. Por ejemplo, los rollos de almacenamiento, paredes divisoras y en casos equipos montados sobre rieles. Por otro lado, se considera las siguientes variables como:

- Duración de la carga
- Intensidad máxima de carga
- Ancho, largo del área de carga y posibles intersecciones de carga
- Presencia de juntas paralelas a un pasillo
- Ancho de pasillo

1.3.1.2.5. Cargas de construcción

Este se refiere a los equipos tales como grúas, camiones de concreto, etc., estas pueden afectar de tal manera al espesor de la losa de diseño. Por otro lado, en el método del PCA, este tipo de cargas no se encuentran incluidas en su metodología de diseño. Sin embargo, se podrían asemejar a las cargas de ruedas equivalentes.

1.3.1.2.6. Cargas inusuales

En este punto se hacen estudios exclusivos previamente para determinar el espesor de la losa, ya que son materiales con una carga excesivamente mayor como, vehículos de tracción, vehículos con 4 ruedas por eje y ruedas con áreas de contacto muy extensas, seguido a ello también

se puede considerar como carga inusual a las vibradoras o compresores de gran peso.

1.3.1.2.7. Efectos Ambientales

En todo tipo de obra de concreto suelen exponerse a los cambios y efectos medios ambientales, desintegrando de alguna manera a la calidad de la misma y entre sus principales efectos tenemos a la excesiva expiación de los suelos, reducción de humedad, efectos de alabeo por disminución entre la parte superior e inferior de la losa, dando como resultado fisuras de distintos tamaños, donde estas reducen sus propiedades del concreto (físico – mecánicas).

A) Alabeo:

El alabeo se puede definir como la distorsión que sufre una losa tomando una forma curvada hacia arriba o hacia abajo donde sus bordes tan encorvados. Esta distorsión puede levantar los bordes de la losa respecto a la base, dando lugar a fisurar cuando se aplican cargas pesadas. Seguido a ello hay veces que el alabeo es evidente a edad temprana. En otros casos, las losas pueden alabearse durante un período de tiempo mayor provocando de todas maneras daños.

Básicamente, el alabeo hacia arriba de los bordes de la losa es provocado por la disminución debido al secado o contracción relativa de la parte superior respecto a la base de la misma. Por otro lado, cuando la superficie de una losa cambia en magnitud más que la otra, la losa se arquea por sus bordes en la dirección del acortamiento

relativo. También estamos hablando de un tipo de alabeo y es más perceptible en las esquinas.

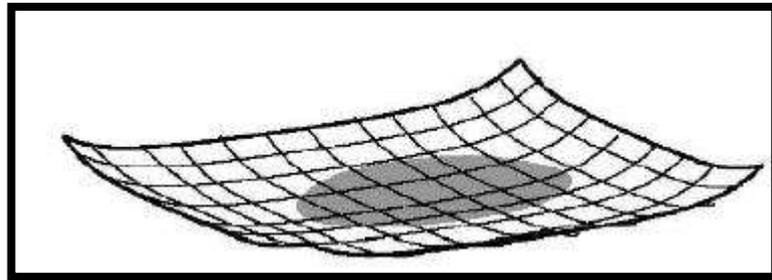
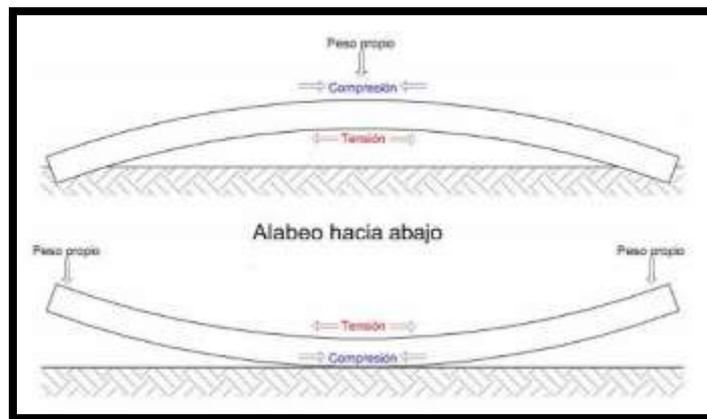


Figura 5: Alabeo típico de una losa.

Fuente: Holland, J. 2001. "Seminario internacional sobre nuevas tecnologías para pisos industriales".



Fuente 6: Comportamiento de losas de concreto bajo cambios térmicos.

Fuente: Basso, 2014

B) Contracción del concreto.

También se le conoce como resultado a la pérdida de humedad. Por otro lado, la contracción es una deformación tridimensional, pero se expresa como si fuera una deformación lineal ya que en la mayoría de elementos de concreto expuestos, una o dos

dimensiones son más pequeñas que las de tres dimensiones y su efecto de contracción es mayor en la dimensión más extensa.

La contracción plástica básicamente ocurre cuando el concreto fresco pierde la humedad, antes de que ocurra cualquier desarrollo de resistencia y después de la colocación. Por otro lado, la cantidad de daño en agrietamientos depende a la humedad relativa, temperatura del aire, temperatura del concreto y de alguna manera la velocidad del viento.

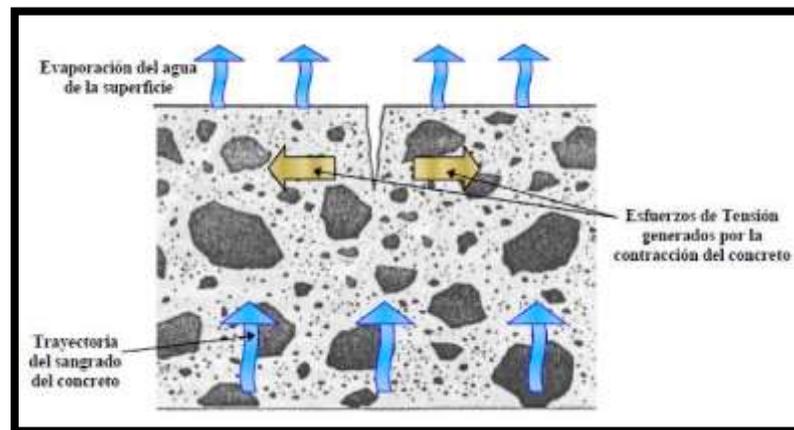


Figura 7: Esquema de evaporación, trayectoria de exudación y esfuerzos de contracción.

Fuente: Cárcamo, 2003.

La contracción por secado es también llamada “la verdadera contracción”, ya que este tipo involucra la pérdida de agua en pequeños poros de la pasta hidratada del cemento, a medida que el concreto se seca, se va perdiendo humedad desde estos poros pequeños y se forman meniscos. Seguido a ello la tensión superficial

del agua asociada a estos meniscos atrae los poros uno hacia el otro y como resultado da la pérdida de volumen en el concreto.

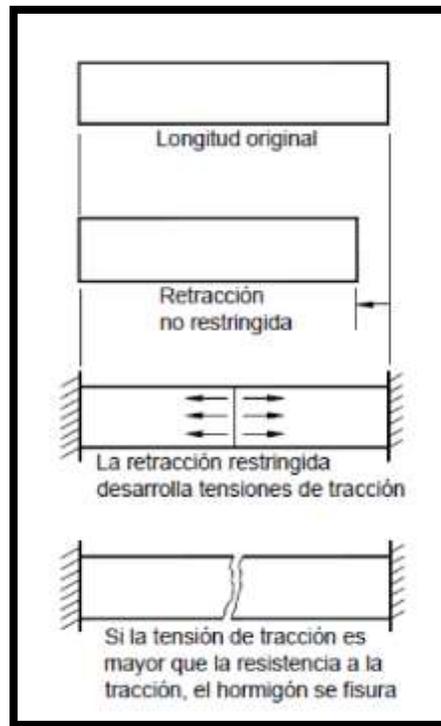


Figura 8: Agrietamiento del concreto restringido por contracción por secado.

Fuente: ACI Comité 224, 2001

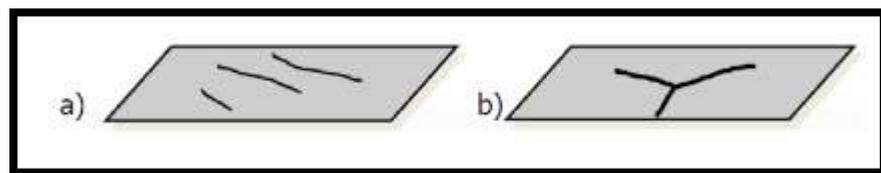


Figura 9: (a) Agrietamiento por contracción plástica, (b) Agrietamiento por contracción por secado.

Fuente: Hernández, 2017

La contracción autógena, se da sin contacto con el medio ambiente, también se le conoce como contracción por auto desecación o contracción química y ocurre dentro de la masa del concreto.

La contracción térmica, básicamente se da cuando disminuye la temperatura del concreto diferente al tiempo de colocado.

La contracción por carbonatación que se da de la reacción del cemento hidratado con el dióxido de carbono en el aire en presencia de humedad. Cuando todos estos tipos de contracción ocurren a la vez se le llama contracción total.

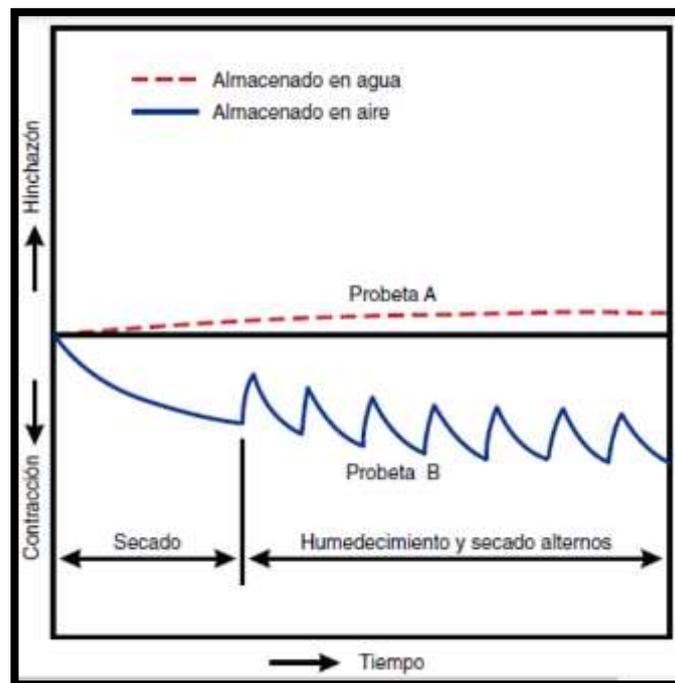


Figura 10: Movimientos de la humedad en el concreto.

Fuente: Portland Cement Association, 2004.

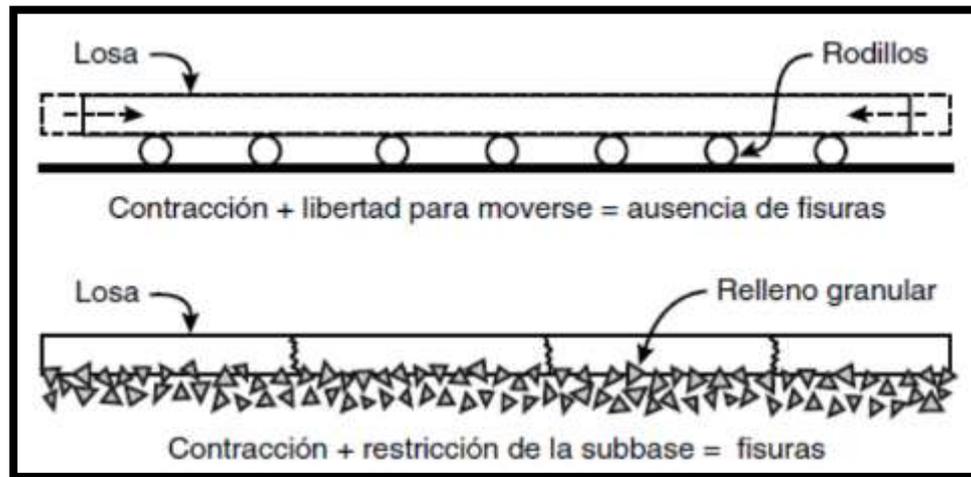


Figura 11: Contracción y agrietamiento.

Fuente: Portland Cement Association, 2004.

1.3.1.3. Otros componentes de los pisos industriales

1.3.1.3.1. Juntas

Estas son utilizadas para el control de deformaciones, donde se reducirá los incrementos de los esfuerzos en los materiales por la dilatación térmico. Por otro lado, son más utilizadas las juntas para las losas o pisos de concreto.

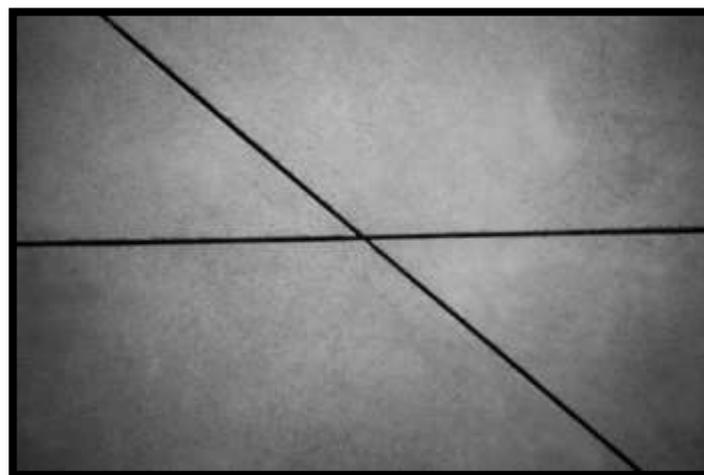


Figura 12: Juntas de losas de concreto.

Fuente: Flickr – Galería de pensando en blanco

Juntas de contracción, se da cuando el concreto al endurecer ocupa menos volumen que cuando está fresco, donde la contracción por fraguado y secado se presenta en forma más rápida en la superficie expuesta y esto provoca un alabeo, por lo que se pueden presentar agrietamientos desde el exterior al interior, donde la fijación impone un esfuerzo mayor que la resistencia a la tensión. Por otro lado, la retracción lineal de un elemento de concreto es tanto mayor cuanto menor sea la relación entre su volumen y su área superficial, cuyo propósito de las juntas de contracción, también llamadas

Juntas de retracción, juntas de alabeo, es básicamente determinar previamente la ubicación de las grietas descritas, con fines estéticos y de funcionamiento apropiado. Es decir, el espaciamiento de las juntas de contracción en placas de contrapiso depende del espesor de la losa, cuyo potencial de contracción del concreto, la fricción con la subrasante, el medio ambiente y la ausencia o presencia de acero de refuerzo. Sin embargo, en un concreto con características normales de contracción oscila entre un 0,02% y 0,07%, donde la separación de las juntas debe ser, en metros, de 24 a 36 veces el espesor de la losa en centímetros, según las recomendaciones de la ACI 302.



Figura 13: Juntas de contracción.

Fuente: Flickr – Resultadossac.

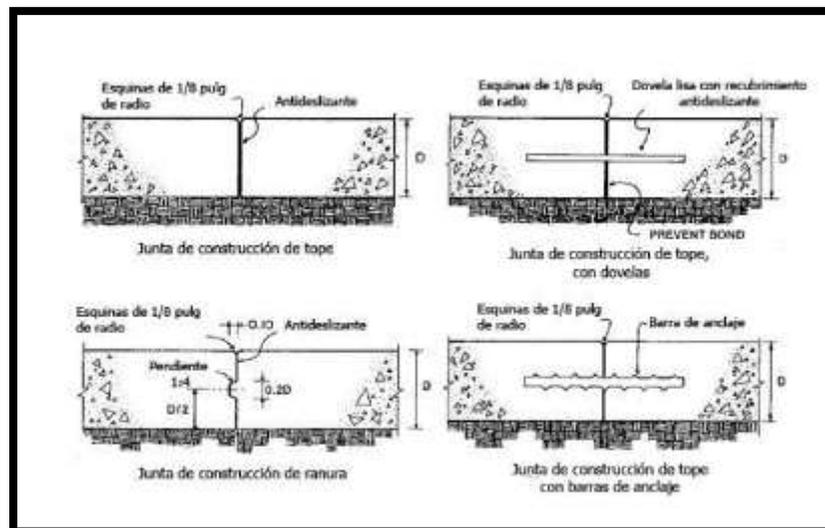


Figura 14: Tipo de juntas de construcción.

Fuente: Portland Cement Association, 1983

Juntas de expansión, se da cuando el aumento de temperatura en el concreto ocasiona un incremento de su volumen en su totalidad. Como lo es en el caso de pavimentos y pisos industriales, por otro lado, al existir una relación tan pequeña entre el espesor y el área superficial del elemento, es donde el aumento de volumen es más notorio en su dimensión longitudinal.

Respecto a las juntas también es importante hablar de los sellantes de juntas de dilatación deben cumplir con las especificaciones del ASTM D-994 (especificación estándar para sellantes de juntas de dilatación preformadas para concreto tipo bituminoso), así como también del ASTM D-1751 (especificación estándar para sellantes de juntas de dilatación preformadas para pavimentos de concreto y construcciones estructurales).



Figura 15: Juntas de expansión.

Fuente: Flickr – Osvaldo Roberto Vicario

1.3.1.3.2. Planicidad y nivelación en la losa

Según la norma ASTM E 1155, este punto es de suma importancia ya que habla de la regularidad de la losa, que afecta directamente el servicio que brinda al usuario y a todos los equipos encargados del traslado de mercancías que actúan sobre estas. No obstante, en lo que es ingeniería se debe tener un equilibrio entre costo – funcionalidad. Seguido a ello, en el tema de los vehículos de cargas pueden volverse inestables en losas que no cumplan horizontalidad y planicidad. Un claro ejemplo podemos decir un vehículo que levanta carga pesada, al no tener la losa plana podría inclinarse caerse el producto o incluso podría voltearse esta, como se muestra en la Figura 16.

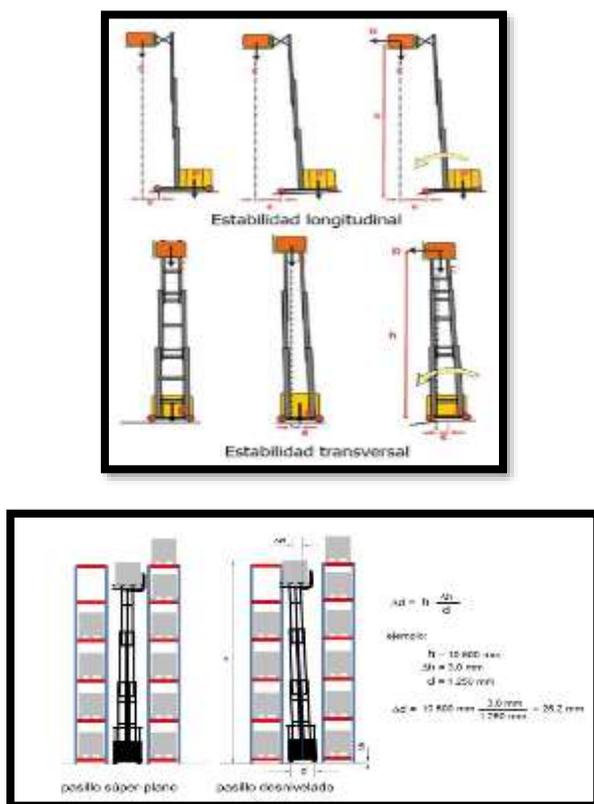


Figura 16: Estabilidad de levante de los equipos de carga de pisos industriales.

Fuente: Salsili, 2013

1.3.2. Fibras Metálicas y Macro sintéticas (Reseña Histórica del Uso de las Fibras.)

En la actualidad, la importancia del concreto se ha desarrollado, pero sus limitaciones se han ido eliminando de forma lenta pero segura, lo que aumenta la durabilidad del concreto. Sin embargo, el concreto posee una alta resistencia a la compresión, pero baja resistencia a la tensión debido a que bajo esfuerzos de este tipo el concreto de recubrimiento se fractura con facilidad. Por esta razón, para superar esta baja resistencia del concreto se utiliza un refuerzo de acero para soportar las fuerzas de tracción y prevenir cualquier agrietamiento o pretensar el concreto para que permanezca en gran parte en compresión bajo carga; además de contribuir con el mejoramiento de otras propiedades como lo son la durabilidad, el control de retracción, el módulo elástico, la resistencia al fuego, entre otras características.

Existen diferentes alternativas para reforzar el concreto, una de ellas son el uso de fibras las cuales son efectivas para reemplazar parcial o totalmente el refuerzo convencional en elementos no estructurales y estructurales, las cuales se ha venido empleando desde la antigüedad, donde las fibras estuvieron presentes en materiales similares al concreto como es el adobe, la tapia pisada y los moteros de cal entre otros, empleados desde el año 1540, probablemente el uso extendido de las fibras como un componente más en materiales aglomerantes haya sido su uso en elementos como tejas o prefabricados de asbesto-cemento. En 1965 se integró el comité ACI 544 (concreto reforzado con fibras), con el fin de proponer recomendaciones para el uso de las fibras y dar el inicio de los avances importantes en la tecnología de las fibras. Sin embargo, hasta la década de los 70's se fueron

desarrollando tecnologías, donde se utilizaban las fibras como refuerzo secundario para el concreto en diversas estructuras, como pisos industriales, pavimentos de carretera, vigas (refuerzo de cortante), losas y revestimiento de túneles. El ACI y ASTM C 1116 clasifica las fibras en base a su composición entre estas encontramos las fibras metálicas, sintéticas, vidrio y las naturales (Guerini, Conforti y Kawashima, 2018).

La norma ASTM C 1116 (2009), define las fibras como: “Filamentos finos y elongados en forma de haz, malla o trenza, de algún material natural o manufacturado, los cuales pueden ser distribuidos a través de una mezcla de concreto fresco.” Por otro lado, el ACI 544, considera como fibras para el concreto los filamentos discontinuos de acero, las fibras sintéticas, de vidrio y las naturales. Sin embargo, las fibras se caracterizan por ser materiales que poseen diámetros pequeños, en comparación con su longitud. Hoy en día se emplean principalmente dos tipos de clasificación: por el tipo de material y por su funcionalidad, geometría y dosificación. Las cuales se detallarán a lo largo del capítulo.

El papel principal de las fibras es tender un puente a través de las grietas de la matriz que se desarrollan a medida que se carga el concreto, proporcionando cierta ductilidad (o tenacidad) posterior al agrietamiento. Esta función dependerá de requerimientos especiales que demandan fibras de materiales y formas especiales, ya que fibras sintéticas, cortas y delgadas cumplen con la protección ignífuga y reducción de fisuras, mientras que, las fibras sintéticas o metálicas más largas se usan cuando se desea aumentar la absorción de energía, donde se da un aporte a la resistencia residual del concreto ante la falla de la matriz (aparición de

la primera grieta), como se muestra en la Figura 15. Partiendo de este concepto la diferencia entre fibras según su funcionalidad. (Sika, 2018).

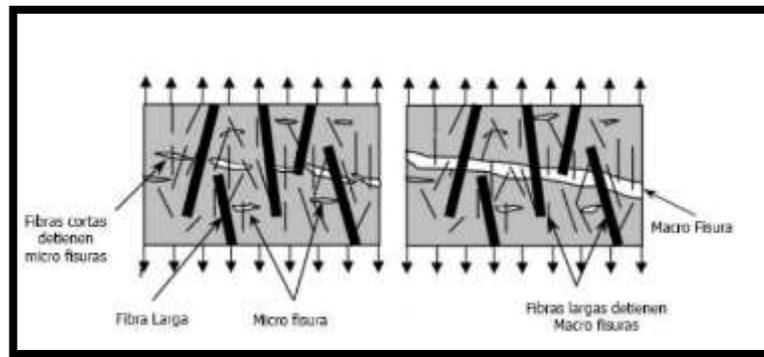


Figura 17: Control de micro fisuras y macro fisuras.

Fuente: Fajardo, 2018

1.3.2.1. Comportamiento del concreto fibro-reforzado

Las fibras se adicionan al concreto normalmente en bajos volúmenes (< del 1%) y esto ha logrado una eficiencia en el control de la fisuración por contracción. Sin embargo, las fibras no alteran la contracción libre del concreto, pero si son empleadas en cantidades adecuadas, pueden incrementar la resistencia al agrietamiento y reducir la abertura de las fisuras (Shah, Weiss e Yang, 1998).

El concreto reforzado con fibras (FRC), es un material de alto desempeño, ya que tiene la gran característica de incrementar la capacidad de transferencia de cargas y controlar la fisuración, dando lugar a una mayor durabilidad. (Zerbino, Giaccio & Pombo, 2016)

Un concreto fibroreforzado (FRC), le permite a la estructura, después de la fisuración, continuar soportando cargas sin fallar. Es decir, el concreto reforzado con fibras son capaces de absorber enormes cantidades de energía, puesto que las transforma en deformación, sin embargo, cuando se produce la falla de la matriz, la fibra comienza a trabajar, brindando mayor resistencia a

tensión y evitando que la grieta se continúe propagando en la matriz. Esta capacidad a absorción adquirida, da como resultado cambios en las propiedades pos-elásticas del concreto que van de sutiles a sustanciales, dependiendo de ciertos factores, como es la resistencia de la matriz, el tipo de fibra, el módulo de fibra, la relación de aspecto de la fibra, la resistencia de la fibra, las características de unión de la superficie de la fibra, el contenido de fibra, orientación de la fibra. (Sika, 2014)

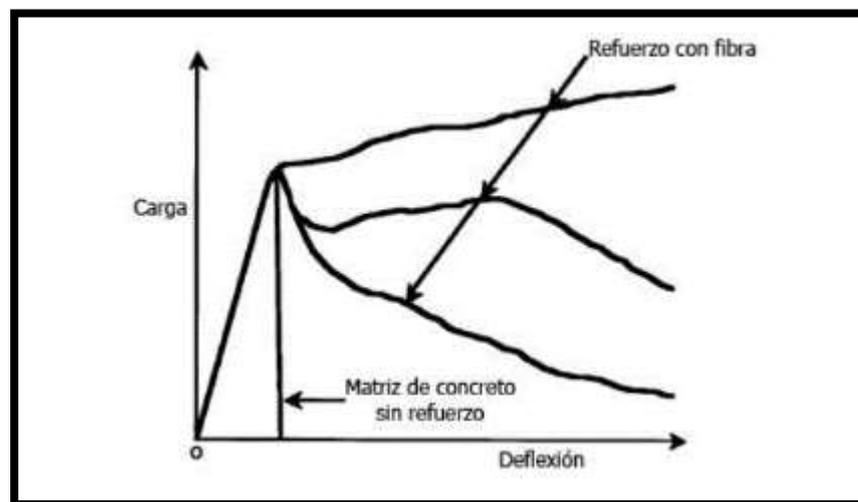


Figura 18: Expone la relación Carga vs Deflexión para concreto con fibras.

Fuente: ACI committe 544, 2002

Dicho anteriormente, es importante mencionar que la primera absorción de energía tiene lugar (gran deflexión) y luego mantiene un alto nivel de esfuerzo deformación. Donde para un concreto sin refuerzo la capacidad de tensión es despreciada, es decir no hay continuidad en la estructura, en cambio, en el concreto fibro-reforzado su comportamiento se basa a las curvas de esfuerzo-deformación de una viga de concreto reforzado con fibras desarrollada bajo condiciones de normativas estandarizadas.

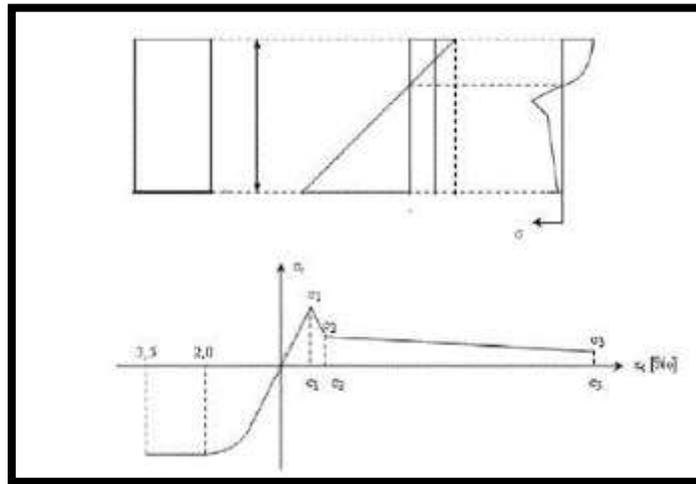


Figura 19: Diagrama de esfuerzos-deformación del concreto fibroreforzado (FRC).

Fuente: Córdoba, 2015

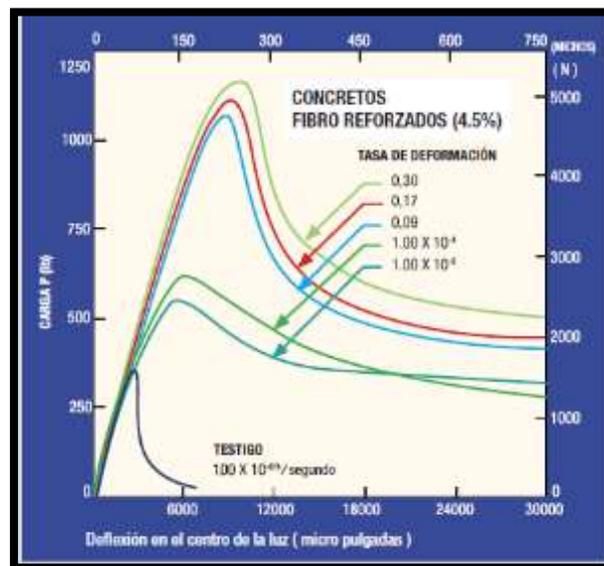


Figura 20: Relación Carga vs Deflexión de una viga sometida a impacto (a diferentes velocidades).

Fuente: Sika, 2014

Dada las principales ventajas de la adición de fibras en el concreto, es común ver que las fibras se utilicen para requerimientos donde la cantidad de absorción de cargas de impacto o de flexión es alta, puesto que las fibras incrementan la ductilidad de revestimientos de concreto proyectado y la resistencia al fuego en concreto de revestimiento definitivo en túneles, como también reducen las fisuras en pavimentos, tableros de puentes y pisos industriales, adicionalmente incrementan la resistencia al impacto y reducen considerablemente el daño sobre piezas de concreto prefabricado. (Sika, 2018)

Aunque existen varios beneficios del uso de fibras en el concreto, es necesario considerar que cualquier tipo de fibra reducirá trabajabilidad, es decir, la compactabilidad, la movilidad y la estabilidad. Esto se debe a que sus áreas de superficie especifican relativamente alta, las fibras aumentan la demanda de agua y, por lo tanto, pueden afectar la mezcla, colocación y compactación de, concreto, disminuyendo la resistencia y aumentando la contracción por secado. (Guerini, conforti y Kawashima, 2018).

Por otra parte, es importante mencionar que las fibras son un refuerzo tridimensional cuya distribución es aleatoria y le permiten a la carga atacar la estructura en cualquier dirección sin que tenga que estar direccionando en un plano como el uso del refuerzo convencional. Esto hace que las fibras brinden un comportamiento isotrópico.

En conclusión, la adición de fibras adecuadas puede brindar mejoras significativas en las propiedades del concreto, tales como:

- Menor fisuración debido a contracción en temprana edad.
- Mejora la cohesión del concreto en estado fresco.

- Mayores valores de resistencia a flexión y corte.
- Incremento de la capacidad de carga y ductilidad.
- Incremento en la resistencia a abrasión.
- Protección ante el ataque por congelamiento y deshielo.
- Incremento en la resistencia al fuego.

1.3.2.1.1. Influencia de la orientación y de la concentración de la fibra

La orientación relativa de las fibras, su concentración y su distribución influyen radicalmente en la resistencia y otras propiedades del concreto reforzados con fibras.

Existen 2 situaciones con respecto a la orientación:

1. Alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras.
2. Alineación al azar.

Es importante mencionar que las fibras continuas por lo general se alinean, mientras que las discontinuas se pueden alinear o bien se pueden orientar al azar.

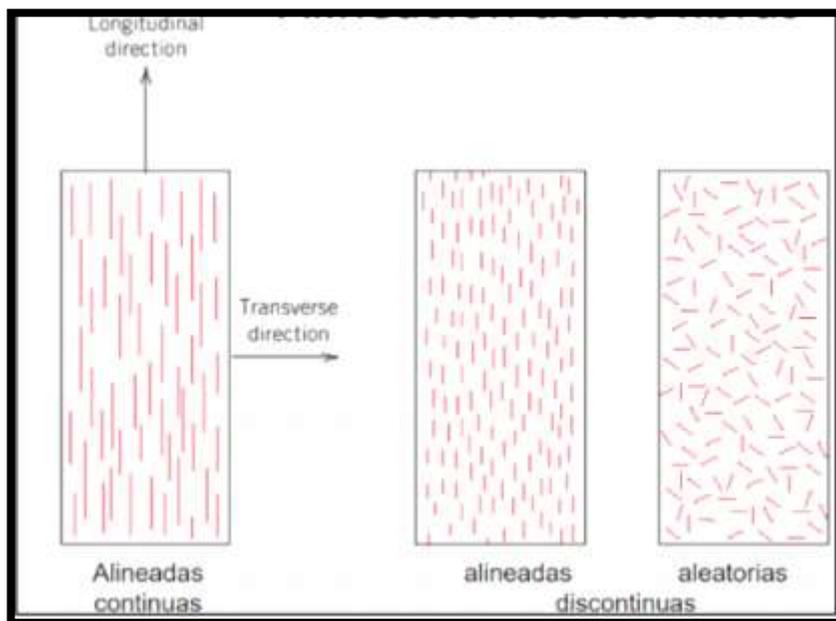


Figura 21: Alineación de las fibras.

Fuente: (Choque, Paye, 2019)

Se sabe que, las fibras ejercen un mecanismo de punteo, con la finalidad de transmitir esfuerzos en el concreto agrietado y proporcionarle capacidad de seguir recibiendo carga aún después del agrietamiento, sin fallar, además de este mecanismo de punteo, la longitud de la fibra tiene una acción diferenciada en el control de la microfisura y la macrofisura. (Pujadas, 2008)

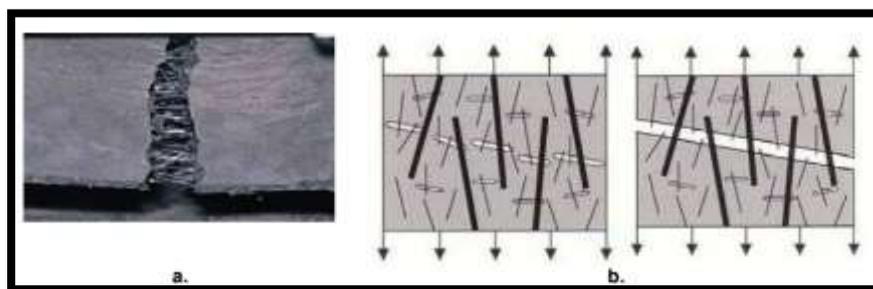


Figura 22: (a) Representa el mecanismo de Punteo, (b) Representa el control de la micro fisura y la macro fisura.

Fuente: Plaza, 2010.

Con respecto al esfuerzo de tracción, las fibras alineadas en la dirección del esfuerzo de tensión pueden brindar un incremento alto en el esfuerzo a tracción directa, con valores hasta de 150%. Mientras que, para distribuciones aleatorias o alzar, el incremento es menor, pero puede alcanzar valores importantes del 60%, donde los resultados obtenidos son similares para la tracción indirecta. (Van chanh, 2005)

1.3.2.2. Tipos de fibras y sus propiedades

La adición de fibras en el concreto confiere ciertas propiedades, ya sea en estado fresco o en estado endurecido. Por esta razón, se puede clasificar de la siguiente forma:

Tabla 2: Clasificación de fibras estructurales y no estructurales.

FIBRAS ESTRUCTURALES	FIBRAS NO ESTRUCTURALES
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Brindan una mayor energía de rotura. ▪ Proporcionan mejora en la resistencia a la fisuración en estado endurecido 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Controlan la fisuración por retracción (estado fresco). ▪ Mejoran la resistencia al fuego, abrasión e impacto.

Fuente: Elaboración propia.

El primer paso para elegir la fibra adecuada es comprender el tipo de fibra necesaria para cierto trabajo. Es estándar principal para el concreto reforzado con fibras es ASTM C 1116 y EN 14889.

El ASTM C 1116, Especificación estándar para concreto reforzado con fibras y concreto proyectado, describe 4 clasificaciones:

- Tipo I: Concreto reforzado con fibras de acero o concreto proyectado (ASTM A820).
- Tipo II: Concreto reforzado con fibras de vidrio o concreto proyectado (ASTM C1666).
- Tipo III: Concreto reforzado con fibra sintética o concreto proyectado (ASTM D7508)
- Tipo IV: Concreto reforzado con fibras naturales o concreto proyectado (ASTM D7357).

1.3.2.2.1. Por material

I. Fibras Metálicas

Las fibras metálicas son probablemente las primeras en ser utilizadas en los Estados Unidos y en otros países, son secciones discretas de metal que tienen una relación de aspecto (relación entre la longitud y el diámetro) que desde 20 hasta 100. Estas fibras son de acero (generalmente de bajo contenido de carbón). Estas fibras de acero son utilizadas en múltiples funciones, como: Túneles, minería, estabilización de taludes, muros de contención entre otros trabajos. Demostrando un incremento del comportamiento dúctil (capacidad de redistribuir esfuerzos en la masa) del concreto, permitiendo así incrementar la resistencia a la fatiga. Por ende, este tipo de fibras metálicas, contribuyen con aumento de la resistencia al corte e impacto, características más importantes que entrega la fibra al concreto.

Por otro lado, otra característica importante, es el buen anclaje con el concreto y la relación entre la longitud y el diámetro equivalente de la fibra. Siendo este último uno de los principales parámetros que diferencia a las fibras metálicas entre sí, ya que en la mayoría de los casos un elevado valor de esta relación resulta en un mejor comportamiento, a cambio de su trabajabilidad, colocación y acabado del concreto. Siendo en su colocación y curado altamente rigurosa, ya que genera erizos en el material a utilizar. (ICH, 2013)

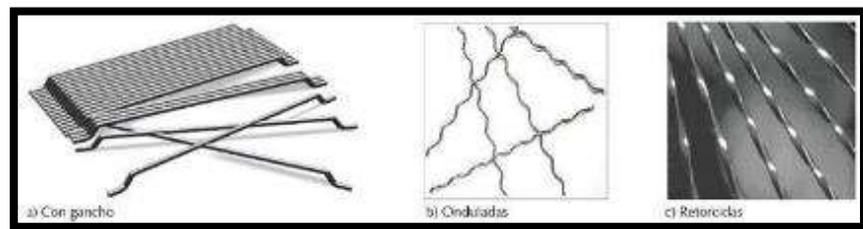


Figura 23: Principales tipos de fibras de acero.

Fuente: ICH, 2013

II. Fibras Sintéticas

Secciones discretas que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por Acrílico, Aramid, Carbón, Polipropileno, Polietileno, Nylon, Poliester, etc. Las cuales se caracterizan por tener elevada resistencia a la tensión y, entre ellas, se define dos categorías: las de alto y las de bajo módulo de elasticidad.

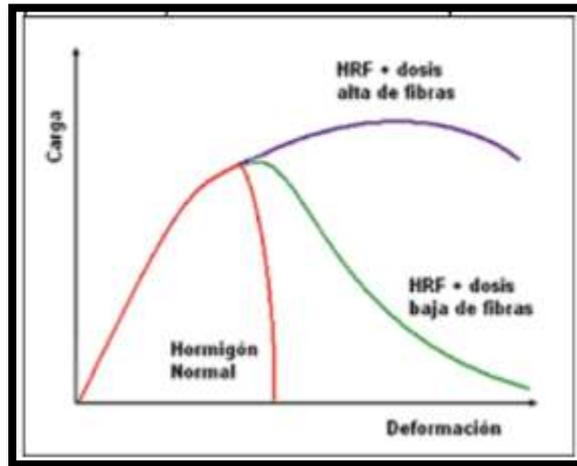


Figura 24: Curva típica Carga vs Deformación en concreto reforzado con fibras.

Fuente: Revista EMB Construcción, 2020.

Una de las principales ventajas de las fibras sintéticas es proporcionar un sistema de soporte interno al concreto, disminuyendo la posibilidad de agrietamiento por retracción plástica durante la etapa de rigidización y contracción inicial del concreto, que es justamente cuando se llega a presentar microfisuras. Y en esta etapa plástica, las fibras sintéticas previenen que estas microfisuras sigan abriéndose debido a la fricción que existe entre las fibras y los áridos. (Zamorano, 2018)

Actualmente, este tipo de fibras son utilizadas en concreto para elementos prefabricados, revestimientos (paneles delgados de alta resistencia) y en pisos industriales.

Se hallan clasificadas de la siguiente forma: (i) monofilamentos extraídos y (ii) láminas fibriladas.

Así mismo, se pueden clasificar según su diámetro y forma:

- Micro-fibras < 0.30 mm diámetro.

- Macro-fibras > 0.30 mm diámetro.



Figura 25: Tipo de fibras de polipropileno.

Fuente (ACI Committe 544)

III. Fibras de Vidrio

Las fibras de vidrio, se fabricaron a finales de los años 60 en Gran Bretaña y su comercialización fue en el año 1971. Son Secciones discretas de fibra de vidrio resistentes al álcali, formando un conjunto de filamentos, donde su porcentaje de adición oscila entre el 2% al 5% en peso de los materiales secos. Proveniente de un recurso no renovable y de alto costo en su fabricación, estas fibras gracias a sus enlaces covalentes entre el silicio y los radicales oxígenos, poseen una elevada resistencia a tracción y su aceptable módulo E. Estas fibras de vidrio se utilizaban en la construcción, principalmente en fachadas exteriores y paneles prefabricados de concreto, logrando una docilidad entre el concreto y la fibra. Donde las que reciben la carga son las fibras de vidrio y las que las mantiene en posición es el concreto. (Zamorano, 2018)



Figura 26: Fibras de vidrio.

Fuente: (Adicat, 2011)

IV. Fibras Naturales

Las fibras naturales se han utilizado como una forma de refuerzo desde mucho tiempo atrás antes de la llegada de la armadura convencional de concreto. Los ladrillos de barro reforzado con paja y morteros reforzados con crin de caballo son unos pocos ejemplos del uso de las fibras naturales como una forma de refuerzo. Sin embargo, estas fibras naturales de refuerzo son obtenidas a bajo costo y son de particular interés en regiones de menos desarrollo, donde los materiales de construcción son de menor accesibilidad. Se utilizan en la confección de paneles, tejas, tuberías, etc. Son de secciones discretas de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Cuyo diámetro varían entre 0.5 y 0.2 mm, con valores de absorción superiores al 12%. (PCA, 2011)

Dicho anteriormente se puede decir que en la Tabla 3, se observa las diferencias entre las propiedades de cada tipo de fibra. Entre las cuales resaltan la resistencia a la tracción y alargamiento en la ruptura. Sin embargo, es importante mencionar que las fibras

estructurales tengan un módulo de elasticidad 3 veces superior al del concreto.

Tabla 3. Características mecánicas de las fibras.

Fibra	Diámetro (um)	Densidad (10 ³ kg/m ³)	Módulo de elasticidad (kN/mm ²)	Resistencia a la tracción (kN/mm ²)	Alargamiento en la ruptura (%)
Acero	5 - 500	7.84	200	0.5 - 2	0.5 - 3.5
vidrio	9 - 15	2.6	70 - 80	2 - 4	2 - 3.5
Amianto	0.02 - 0.04	3	180	3.3	2 - 3.5
Polipropileno	20 - 200	0.9	5 - 7	0.5 - 0.75	8
Nylon	-	1.1	4	0.9	13 - 15
Polietileno	-	0.95	0.3	0.007	10
Carbón	9	1.9	230	2.6	1
Kevlar	10	1.45	65 - 133	3.6	2.1 - 4
Acrílico	18	1.18	14 - 19.5	0.4 - 1	3

Fuente: Fibras Wirand y Fibromac – Maccaferri 2009

1.3.2.2.2. Por funcionalidad, geometría y dosificación

El ACI, clasifica a las fibras poliméricas en microfibras y macrofibras.

A. Microfibras

Estas fibras están destinadas a la fisuración del concreto en estado fresco o antes de las 24 horas. Su dosificación en el concreto va para volúmenes de entre 0.03% a 0.15% del mismo. La más común son las fibras en polipropileno, cuyas dosificaciones en peso oscila entre 0.3 a 1.2 kg/m³ de concreto. (Sika, 2014)

Por otro lado, se menciona que las microfibras se utilizan regularmente para el control del agrietamiento por retracción plástica, más no aportan capacidad estructural al concreto. Estas fibras en general tienen un diámetro entre 0.02 mm y 0.05 mm, y por lo regular

tienen longitudes desde 6 mm a 25.4 mm. Y tienen un menor módulo E que las macrofibras sintéticas (3 – 5 Mpa). Actualmente su dosificación en peso es de 0.6 kg/m³, sin embargo, para facilitar su dosificación se están usando bolsas hidrosolubles de 0.6 kg. Es decir, que la bolsa de empaque pueda disolverse con el agua del concreto sin dejar desecho plástico, no ecológico.

Su aplicación está en la mayoría de las estructuras de concreto, especialmente aquellas que tienen grandes superficies, las cuales están expuestas a las condiciones ambientales, en las que suelen estar los cambios de humedad, de temperatura e incluso corrientes de aire. Por lo que, estas situaciones son muy comunes en losas de concreto sobre terrenos (pisos y pavimentos). (Sika, 2018)



Figura 27: Microfibras.

Fuente: PCA, 2011

B. Macrofibras

Estas fibras están destinadas a prevenir la fisuración en estado endurecido, a reducir el ancho de la fisura si ésta se presenta y a permitir el adecuado funcionamiento de la estructura fisurada. La dosificación oscila entre 0.2% a 0.8% del volumen del concreto. Las macrofibras más usadas son las sintéticas y las metálicas cuyos diámetros varían entre 0.05 mm a 2.00 m. La relación de aspecto (L/d) de las macrofibras varía entre 20 a 100.

Las dosificaciones en términos de peso varían de acuerdo con la densidad del material, las fibras sintéticas (polipropileno) oscila entre 2 kg/m³ a 9 kg/m³, y las fibras de acero requieren entre 20 kg/m³ a 50 kg/m³ de concreto. (Sika, 2014). Sin embargo. (Argos, 2020), menciona que las macrofibra fueron desarrolladas en diversas longitudes, espesores, diámetros y formas. Las macrofibras de acero, por ejemplo, pueden reemplazar en su totalidad al acero estructural con dosificaciones que van de 30 kg/m³ a 45 kg/m³, debido al trabajo tridimensional en toda la masa del concreto, por lo que las macrofibras de tan solo 5.0 cm a 7.5 cm (2.0 a 2.5 pulg), resisten los esfuerzos estructurales que recibe el concreto en estas aplicaciones.

Por consiguiente, estas fibras se utilizan para controlar grietas por temperaturas, así como para mejorar el desempeño post-grietamiento de concreto sometido a flexión y tensión, lo cual les permite reemplazar la malla electrosoldada y las barras de acero en un buen número de aplicaciones específicas dentro de las obras de

infraestructura como pavimentos de concreto, soportes de taludes en vías, túneles vehiculares, hidráulicos o de minería, y elementos prefabricados. Sin embargo, el uso más reconocido de las macrofibras son el concreto lanzado y los pisos industriales. Por otro lado, se menciona que las macrofibras son relativamente gruesas, regularmente se obtienen en diámetros entre 0.5 mm y 0.7 mm, con longitudes entre 19 mm y 50 mm. Y tienen un menor módulo E que las fibras metálicas (5 – 15GPa). (Sika, 2018)

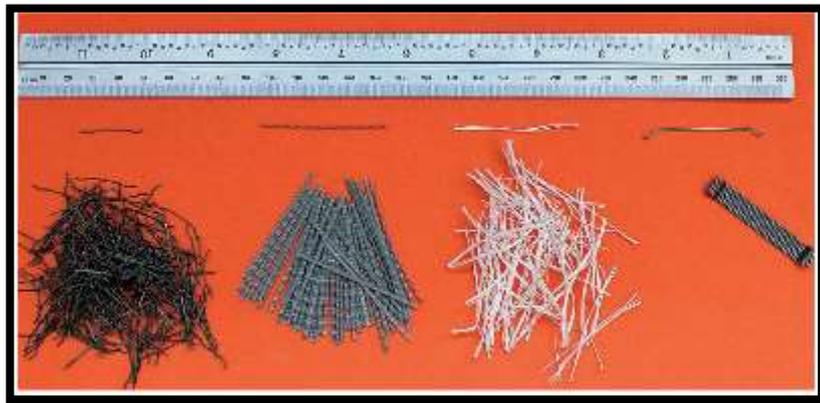


Figura 28: Tipo de Macrofibras.

Fuente: Sika, 2014

1.3.2.3. Características del Concreto Reforzado con Fibras (FRC)

Si bien es cierto, al adicionar al concreto, tanto macrofibras como microfibras, se obtiene un material con características mecánicas diferentes al concreto convencional.

Los factores que influyen en las propiedades de un concreto reforzado con fibras son las siguientes:

- Fibras: Geometría, relación de aspecto, contenido, orientación y distribución.

- Matriz: Resistencia y dimensión máxima de los agregados
- Interfaz fibra-matriz
- Probetas: Dimensiones, geometría y metodología de ensayo.

1.3.2.4. Propiedades del concreto reforzado con fibras bajo cargas estáticas y dinámicas

El FRC (concreto reforzado con fibras) presenta las siguientes propiedades:

1. Compresión (ASTM C39 – NTP 339.034)

Esta propiedad no presenta mayor variabilidad con respecto a la adición de fibras, una vez alcanza el pico (esfuerzo máximo) en la curva carga vs deformación presenta mayor ductilidad debido a la presencia de fibras.

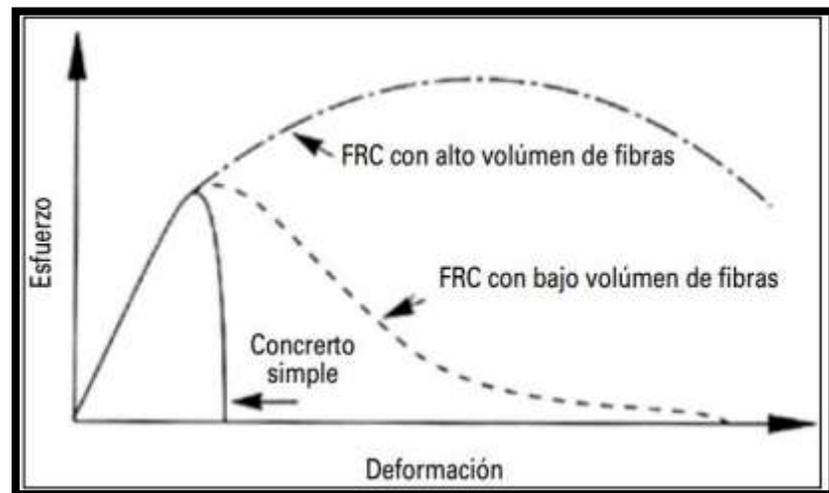
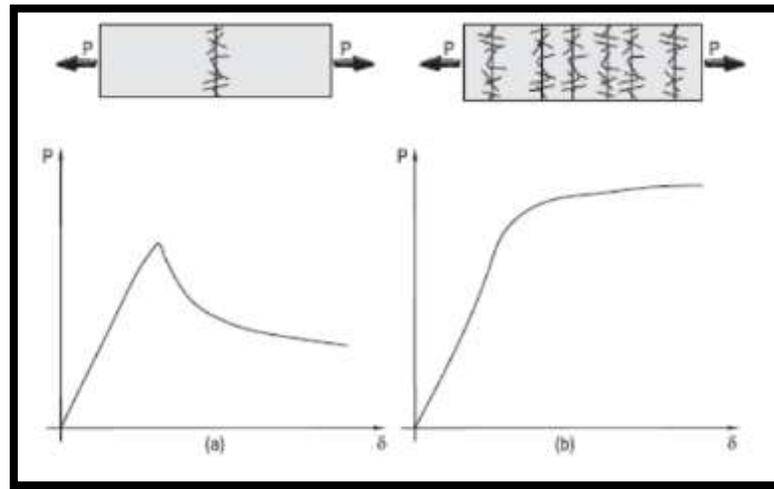


Figura 29: Comportamiento del concreto reforzado con fibras metálicas.

Fuente: Maccaferri

2. Tracción directa uniaxial

La tracción directa uniaxial del concreto reforzado con fibras es importante en la fase del primer post-fisuramiento en especial, las fibras obteniendo incrementos en el valor pico.



*Figura 30: Curva de Carga vs Desplazamiento para concreto reforzado
(a) Bajo contenido de fibras, (b) Alto contenido de fibras.*

Fuente: Maccaferri

3. Tracción indirecta (ASTM C 496)

El ensayo de tracción indirecta o conocido también como ensayo a tracción indirecta por splitting, consiste en someter a una probeta cilíndrica a una fuerza de compresión en su zona transversal.

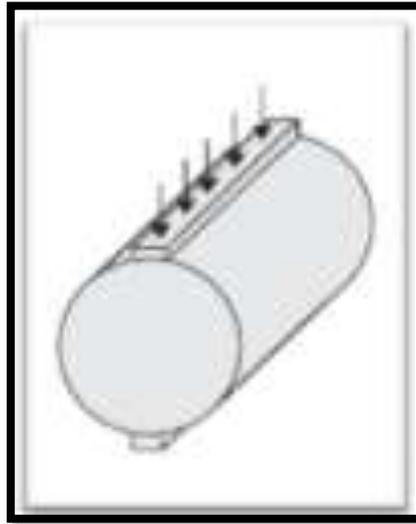


Figura 31: Esquema de probeta para ensayo a tracción indirecta

Fuente: Maccaferri.

1.3.2.5. Normativas aplicables en la evaluación de concreto reforzado con fibras

Las siguientes normas aplican en la evaluación del concreto reforzado con fibras, teniendo en cuenta sus propiedades particulares:

- Asentamiento: NTP 339.033
- Flexión: ASTM C 1018
- Tenacidad: ASTM 1550
- Resistencia residual: ASTM 1399
- Flexión: ASTM C 1609
- Cantidad de fibras: JSCE N3
- Resistencia al impacto: ACI 5442R-89

1.3.2.6. Aplicaciones de las Macrofibras sintéticas

1.3.2.6.1. Aplicación en Pisos y Pavimentos industriales

El concepto básico de un pavimento de concreto reforzado es el control del ancho de grietas de retracción entre las juntas. Donde el refuerzo por lo general consiste en barras de acero, mallas de acero electro soldadas, fibras metálicas o sintéticas. Donde las barras y mallas deben colocarse a una profundidad igual a $1/3$ del espesor de la losa. Este se utiliza para controlar la abertura de las grietas. Asimismo, para losas con espesor insuficiente para resistir las cargas como en el caso de las losas de concreto simple, el refuerzo requerido debe dimensionarse utilizando las técnicas de concreto armado, siguiendo el método descrito en el ACI 318. Sin embargo, el uso de este método con altos niveles de tensiones en la armadura, puede resultar en anchos de grietas excesivas. Asimismo, estos pisos y pavimentos de concreto son estructuras con tendencia a la fisuración, tanto a edad temprana como en servicio, debido a su gran superficie expuesta y a las solicitaciones que reciben por acción de las cargas de tránsito y del clima. La incorporación de fibras aparece como una de las mejores alternativas técnicos-económicas con relación a los costos de mano de obra, de supervisión y pérdida de material, asociados con la utilización de sistema de refuerzo tradicional, donde se requiere mayor cantidad de mano de obra y de tiempo. Es así, que la construcción de pisos de concreto reforzado con fibras, el tiempo de ejecución llega a reducirse a más de la mitad en comparación con el sistema tradicional. (ICH, 2013)

Sin embargo, es importante resaltar que el espaciamiento entre juntas se relaciona directamente con la contracción potencial del concreto y cuando mayor sea ésta, menor debe ser el espaciamiento, para reducir el riesgo de generación de fisuras. Asimismo, el PCA (Portland Cement Association) menciona que el máximo espaciamiento entre juntas varía en función del tamaño máximo de agregado. Dado que el espesor típico para losas de concreto en pisos industriales es de 150 mm y se emplean agregados de $TM > 19$ mm, y el espaciamiento máximo recomendado es de 4.5 m.

Tabla 4: Espaciamiento máximo de juntas de contracción para concreto simple (m).

Espesor de la losa (mm)	Tamaño máximo de agregado	
	< 19 mm	> 19 mm
125	3.00	3.75
150	3.75	4.50
175	4.25	5.25
200	5.00	6.00
225	5.50	6.75
250	6.00	7.50

Fuentes: PCA, (2011)

Si se considera el uso de barras de acero como refuerzo, es importante saber que si la cuantía es menor o igual a 0.1%, el espaciamiento debe ser el mismo que para una losa sin refuerzo. Este refuerzo típico en losas (mallas electrosoldadas) no pueden evitar la generación de fisuras, dado que las barras permanecen inactivas hasta que se origina la fisura, y es ahí donde están dispuestas a mantener cerradas las fisuras. Es por esta razón que, para resolver estos inconvenientes intervienen las macrofibras estructurales, con la finalidad de ejercer una acción de puntada sobre las juntas de construcción

e impedir el incremento en el ancho de la fisura si está se presenta y permitir el adecuado funcionamiento de la estructura fisurada. Otro problema importante de estas construcciones en pisos y pavimentos, está el alabeo, que es consecuencia de la mayor y más rápida contracción que se produce en la superficie expuesta de las losas con respecto a la cara apoyada sobre el suelo. Este fenómeno es la causa principal de las fallas en las juntas de los pisos industriales de concreto, es así como la incorporación de macro fibras sintéticas suele reducir la segregación y la exudación del concreto fresco, que en mayor o menor medida tiene lugar en todas las losas, y el proceso de secado resulta más homogéneo en todo el espesor de la losa disminuyendo su alabeo.

Asimismo, la presencia de múltiples macrofibras en la sección transversal de las losas absorben o redistribuyen las tensiones internas causadas por los cambios dimensionales, ya que estas fibras modifican los efectos del proceso de contracción del concreto de las losas sobre el suelo, y permiten el incremento del espaciamiento entre juntas. Además, la incorporación de macro fibras sintéticas otorga al concreto capacidad residual post fisuración, es decir, el material conserva capacidad resistente aún en estado fisurado con el consecuente aumento en la tenacidad. Donde dicho aumento de la tenacidad permite aprovechar en el cálculo estructural de las losas sobre suelo, la capacidad de carga de las losas de concreto fibroreforzado, que en su conjunto siguen transmitiendo esfuerzos, aunque existan fisuras (controladas) en la parte inferior.

Finalmente, otro atributo importante de las macrofibras sintéticas es que, incluyendo al concreto pequeñas dosis de fibras, se produce una mejora de la resistencia a la fatiga, que viene a ser un parámetro de diseño importante, para estos elementos estructurales como lo son pavimentos, carpetas de rodamiento, pisos industriales, estructuras offshore, etc. Los cuales están sometidos a la fatiga de ciclos de carga. Asimismo, podemos concluir que el uso de las macrofibras sintéticas en forma discontinuas se distribuyen homogéneamente en toda la masa del concreto, proporcionando un refuerzo tridimensional, controlando las fisuras y transfiriendo esfuerzos (aunque sean mínimos), brindando así mejoras en la performance de este tipo de estructuras redundantes como lo son los pisos y pavimentos. (Altamirano, Pombo, Giaccio, Zerbino, 2017)



Figura 32: Malla Electrosoldada reemplazada por Macrofibras.

Fuente: Eucomex, 2017.

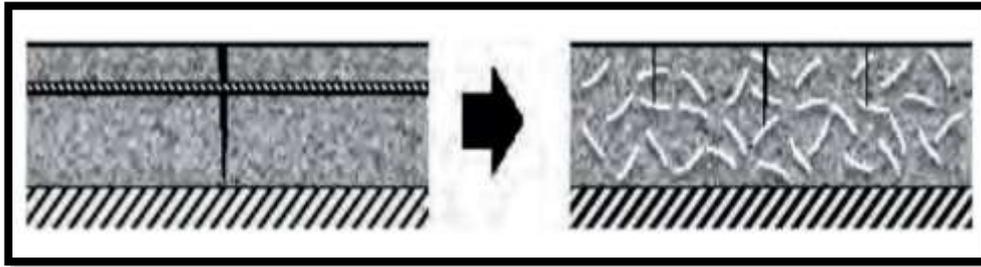


Figura 33. La Malla Electrosoldada y varilla de refuerzo proporcionan un control de fisuración de dos dimensiones, mientras que las Microfibras sintéticas generan un refuerzo tridimensional en el concreto, que da como resultado mayor efectividad y grietas más delgadas.

El refuerzo para concreto en general se puede clasificar en varios niveles basados en la aplicación y las cuantías de acero, es decir, la relación que existe entre el área del acero (A_s) y el área del concreto (A_c) para un metro de sección transversal.

Mientras que la dosificación necesaria de macrofibras se calcula en base al desempeño del concreto reforzado con fibras como un material compuesto en comparación con varillas de refuerzo o malla electrosoldada. Esto se puede hacer mediante la realización de pruebas normalizadas en vigas de concreto reforzado. (Eucomex, 2017)

Tabla 5: Esquema de los niveles de refuerzo para una sección de concreto.

Tipo de Refuerzo	Rango	DOSIFICACIÓN DE FIBRAS		ACERO DE REFUE RZO
		MICROFIBRAS	MACROFIBRAS	
Refuerzo para el control de grietas por contracción plástica	$\rho < 0.05\%$	Baja		
Refuerzo para el control de agrietamiento por temperatura y contracción	$(0.05\% < \rho < 0.1\%)$		Baja	
Refuerzo para el control de agrietamiento , con bajos niveles de momento	$(0.10\% < \rho < 0.35\%)$		media	
Refuerzo para el control de agrietamiento , con niveles medios de momento	$(0.35\% < \rho < 0.70\%)$		Alta	
Refuerzo para el control de agrietamiento , con niveles altos de momento	$\rho > 0.70\%$		Solo varillas o un híbrido de varillas de refuerzo y macrofibras	

Fuente: Eucomex, 2017.

1.3.2.7. Principales propiedades de mejora de la Macrofibra al concreto

1.3.2.7.1. Tenacidad

La tenacidad se define como la capacidad de absorción de energía, cuando la tenacidad del material es alta ayuda a que la estructura incluso después del agrietamiento pueda seguir siendo cargada. Además, esta propiedad cuantifica la doble acción de deformación y capacidad de resistir un esfuerzo, que es exactamente el producto de la resistencia y la deformación, que en el un plano cartesiano de Carga y Deformación se traduce en el área bajo la curva. Como se muestra en la Figura 30. Esto nos lleva a la definición donde una fuerza aplicada (carga) por distancia (deformación) en un tiempo dado, es justamente Energía $[F \times d/t]$. la tenacidad es la capacidad de absorción de energía de un material.

El concreto fibroreforzado (con macrofirbas), tiene una tenacidad muy superior al mismo concreto sin fibras. Sin embargo, si ambas matrices tienen la misma resistencia para ser más tenaz al concreto no le queda otra alternativa que deformarse más antes de la falla (hacer las veces un poco del caucho). (Sika, 2014)

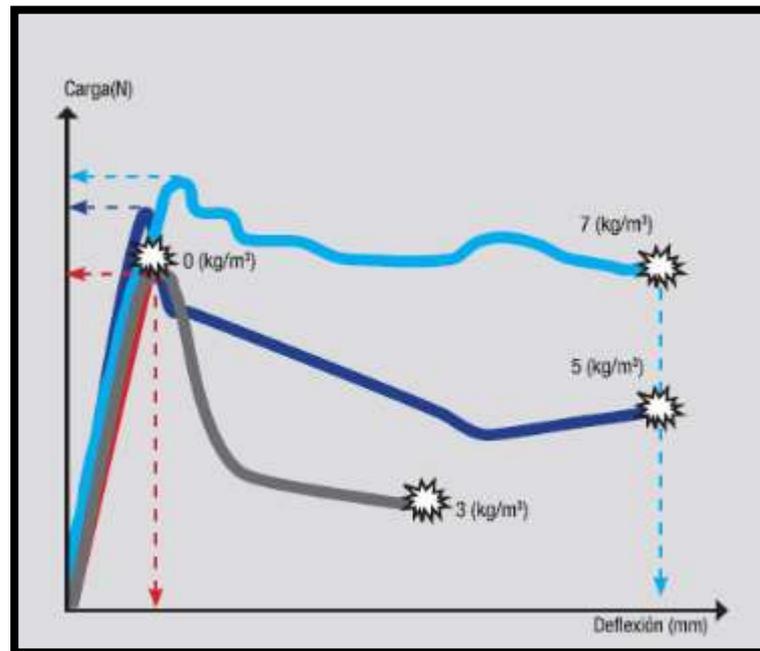


Figura 34: Relación Carga vs. Deformación de 4 placas que se cargan paulatinamente con un gato hidráulico cuya deformación se mide como la deflexión bajo el elemento en el centro de la luz.

Fuente: Sika, 2014

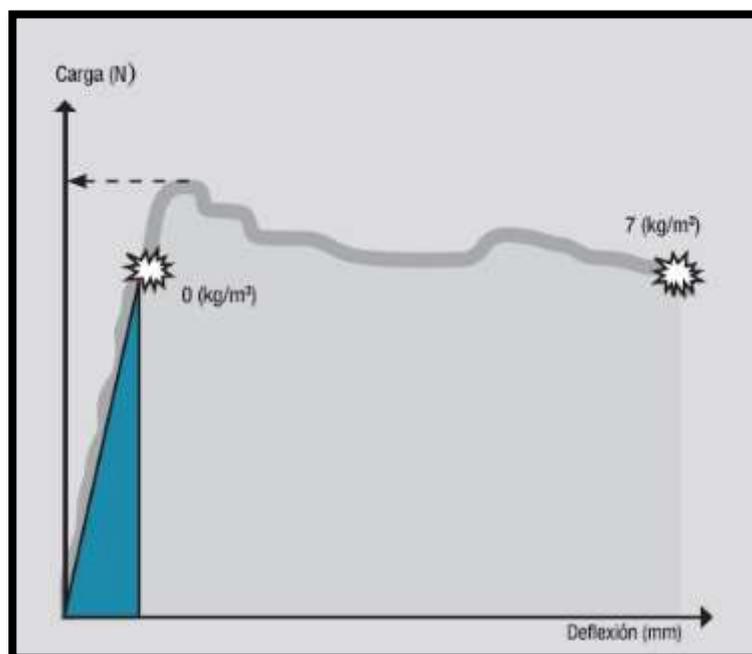


Figura 35: En términos de tenacidad, muestra el material más tenaz, el cual tiene 7 kg/m³, la cual encierra la mayor área bajo la curva.

Fuente: Sika, 2014

1.3.2.7.2. Esfuerzo residual

A diferencia de la tenacidad el esfuerzo residual describe la capacidad del material de seguir siendo cargado después de ocurrida la fisura antes de colapsar.

Una vez la matriz del concreto se ha fisurado, el concreto sin fibra simplemente colapsa y la estructura también, es decir que no hay continuidad en la estructura y puede caer en pedazos. Mientras que, en un concreto fibroreforzado la falla y colapso de la estructura tienen lugar mucho después de la aparición de la fisura principal. Es decir, permite a la estructura seguir absorbiendo cargas externas (que pueden ser las llantas de un tracto mula, las fuerzas producidas por un sismo, o el empuje de un terreno) sin colapsar, le permite a la estructura seguir funcionando. Y las ventajas que ofrece un concreto fibroreforzado son apreciadas en estructuras como pisos, pavimentos, recubrimientos de concretos lanzados en taludes y túneles, elementos expuesto a cargas altas en tiempos cortos como explosiones. Finalmente, estos concretos fibroreforzados son capaces de absorber enormes cantidades de energía y para cuantías de dosificación muy altas, se usan como disipadores sísmicos (columnas con más de 100 kg/m³ de fibra metálica o más de 10 kg/m³ de fibra sintética) que pueden actuar como “amortiguadores” en bases de edificaciones. (Sika, 2014)

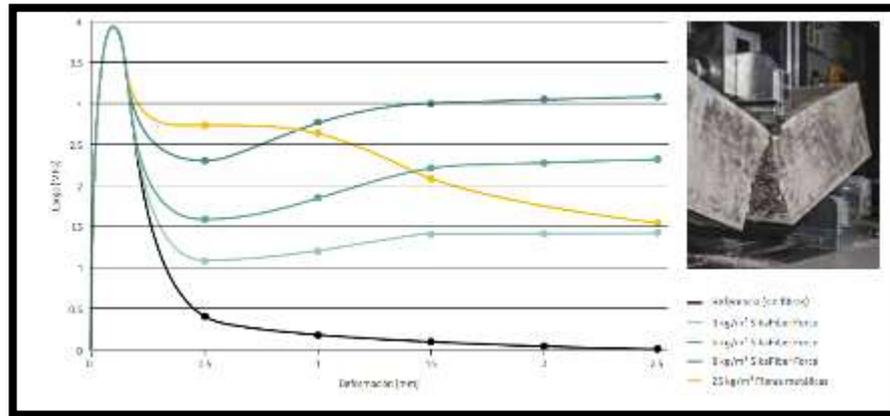


Figura 36: Ensayo de Carga Residual por el EN 14651

Fuente: Sika, 2018

En la figura 36 se puede ver que el concreto reforzado con fibras metálicas posee mayor módulo de elasticidad y mayor capacidad de carga luego de la aparición de la primera fisura. Debido al menor largo (35mm) de la fibra metálica, este nivel de carga disminuye al aumentar la deformación, por otra parte, las fibras de polipropileno muestran una caída de carga luego de la aparición de la primera fisura (carga máxima), pero al aumentar la deformación, las fibras toman las cargas y la capacidad portante de la estructura incrementa significativamente (Sika, 2018)

1.3.2.7.3. Impacto

Esta propiedad de absorción de energía si tiene un concreto con fibras mejoradas gradualmente dependiendo de la cantidad de fibras adicionada al concreto, ya que la fibra se comporta como una red disipando los esfuerzos a través de ella. (Mesa, 2017)

1.3.2.8. Ventajas y Desventajas

Tabla 6: Ventajas y Desventajas de las Macrofibras vs. Mallas electrosoldadas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> Las macrofibras pueden reemplazar la malla electrosoldada empleadas en pavimentos 	<ul style="list-style-type: none"> No reemplazan el acero estructural, como las barras de acero a flexión.
<ul style="list-style-type: none"> Las macrofibras disminuyen la permeabilidad en el concreto, que está relacionado al ancho de la fisura. 	<ul style="list-style-type: none"> Reduce el asentamiento de cono, donde depende directamente de la cantidad y composición de la fibra.
<ul style="list-style-type: none"> En el estado endurecido, aumenta la tenacidad y la resistencia al impacto 	<ul style="list-style-type: none"> En el estado fresco, el mezclado se torna más dificultoso y se puede incorporar cierta cantidad de aire.
<ul style="list-style-type: none"> En el estado fresco, aumenta el control de la contracción plástica. 	<ul style="list-style-type: none"> Las fibras de polipropileno tienen un bajo módulo de elasticidad.
<ul style="list-style-type: none"> La baja densidad de las fibras, logra que se queden embebidas en el concreto 	

durante el vibrado, de manera
que no afloran a la superficie.

Fuente: Zamorano, 2018.

1.3.2.9. Características de las fibras en uso

1.3.2.9.1. Ficha técnica

Sika Fiber Force-60, (2019) menciona lo siguiente:

- **Material:** Poliolefina
- **Tasa de dosificación:** 3 kg/m³ a 10 kg/m³
- **Longitud disponible:** 48 mm
- **Ancho de la fibra:** 0.84 mm
- **Resistencia a la tracción:** 430 MPa
- **Módulo de elasticidad:** 6 Gpa
- **Punto de fusión:** 170°C
- **Absorción de agua:** 0%

1.3.2.9.2. Uso de la Macrofibras

Sika (2019), menciona el uso de la fibra macro sintética estructural

Sika®Fiber Force-60 debido a sus propiedades mecánicas lo siguiente:

- Concreto pulverizado para la estabilización de excavaciones en túneles y minería.
- Concreto pulverizado para la estabilización de rocas y suelos.
- Concreto pulverizado para uso de estabilización temporal.

- Sustitución de refuerzo de acero en aplicaciones de concreto proyectado.
- Losa en aplicaciones de concreto/suelos industriales a base de suelo.
- Cimentaciones con concreto reforzado con fibra.
- Elementos prefabricados de concreto.
- Aplicaciones de concreto, especialmente superficies con alta resistencia a la abrasión.

1.3.2.9.3. Ventajas

- Sika Fiber®Force-60, es una fibra de polipropileno macro sintética estructural, diseñada y usada como el refuerzo secundario del concreto.
- Absorción de energía altamente incrementada para concreto proyectado.
- Capacidad de puenteo de grietas, especialmente en grandes aberturas de grietas.
- Mayor durabilidad debido a la alta resistencia química.
- Superficies sin óxido.

1.3.2.9.4. Dosificación

El refuerzo con Sika Fiber Force-60 se dosifica directamente el concretero junto con los agregados. SikaFiber Force-60 también se puede dosificar al mezclador de camiones. En ese caso, se requiere un tiempo de mezcla adicional de al menos 1 minuto por m³.

1.3.3. Generalidades y tipos de pisos

Los pisos y losas de concreto se pueden clasificar dependiendo del tipo de uso, de consideraciones técnicas y del acabado. Además, el tipo de concreto debe presentar los requerimientos y características de la clase de losa o piso a construir.

Es importante considerar en el diseño características como:

1. Resistencia al desgaste y al impacto.
2. Tipo de agregado
3. Acabado
4. Curado del concreto

De acuerdo al ACI-302.1R-15 los pisos se dividen en 3 grupos:

1. Pisos monolíticos de una sola capa – Clase 1,2,4,5 y 6
2. Pisos de dos capas – Clases 3,7 y 8
 - a. Pisos de capa superior no adherida a la losa base
 - b. Pisos de capa superior adherida a la losa base
3. Pisos súper planos (de capa sencilla o capa superior) – Clase 9

En este último grupo, esos pisos son utilizados para ciertas instalaciones que requieren pisos extraordinariamente planos y a nivel.

A continuación, se presenta una tabla donde se muestra la clase de pisos con base en uso pretendido para la presente investigación.

Tabla 7: Clasificación del tipo de pisos del ACI 302

	TIPO ANTICIPADO DE TRÁNSITO	USO
Clase 9 Hilera única	Superficies expuestas: super plana o cubierta, tolerancia superficial crítica Materiales especiales manejo de vehículos que requieren tolerancias específicas	Almacenes de pasillos estrechos y estantes altos. Consultar al ACI 360 para obtener orientación sobre el diseño.

Fuente: ACI committe 302

Para pisos de clase 9, ciertas instalaciones de manipulación de materiales (almacenes de estantes altos y pasillos estrechos) requieren pisos extraordinariamente nivelados y planos.

1.3.4. Descripción de sistemas constructivos más utilizados para losas industriales

El necesario conocer que le método constructivo de los pisos de concreto es similar tomando consideraciones como:

- Preparación del terreno de soporte.
- Colocación del concreto.

Asimismo, existen muchas consideraciones tales como el drenaje y el diseño de espesor de losa.

Describiremos las losas convencionales apoyadas sobre suelos a los tipos de losas sin refuerzo y reforzadas para limitar el ancho de grieta. Este tipo de losas

se les denomina convencionales, porque han representado a través del tiempo las soluciones más comunes que se diseñan y construyen.

Es importante comprender el comportamiento de estos elementos para poder realizar un cálculo correcto de las dimensiones que debe tener la losa y las características de los materiales a implementar. De esta manera, podremos predecir con un algún grado de determinación el desempeño que se pretende obtener de la losa.

1.3.4.1. Comportamiento de las losas con refuerzo

Estas losas se diseñan para que el espesor del concreto tome las cargas y se le adiciona una cantidad relativamente pequeña de refuerzo cuya función es limitar el ancho de grietas, es decir, proveer de capacidad de momento a la sección agrietada.

En proyectos que se diseñen con espaciamientos normales de juntas (menores a 4 m ó 4.5 m), el acero de refuerzo no es necesario, salvo que, se busque mantener cerradas el ancho de grietas. El refuerzo que tradicionalmente se coloca son barras de acero de diámetro pequeño de 2/8" ó 3/8" distribuidos en ambas direcciones equidistantes en forma de malla. Donde las mallas electro-soldadas son una solución práctica que se puede aplicar.

Es importante que el diseñador tenga presente que la colocación del acero no previene la formación de grietas, debido a que, dentro de un paño el refuerzo con barras de acero aumenta la cantidad de grietas, pero de anchos limitado que no afectan la serviciabilidad. Por otro lado, las grietas que se forman entre juntas están asociadas con los movimientos de contracción restringido y no con los

esfuerzos de las cargas, ya que el concreto se diseña para soportar tales solicitaciones.

El acero empleado como refuerzo secundario en losas dependerá de la función que este desempeñe. Y la posición en la mayoría de los casos, se coloca en la mitad del elemento para disminuir el ancho de grieta producidos por contracción y temperatura. También es común ver la posición del acero en el tercio superior de la placa, es decir, la mitad hacia arriba, con la finalidad de dar capacidad de momento a la sección agrietada, ya que mientras más alejado se encuentre de la cara en compresión mayor capacidad se obtendrá.

La forma más utilizada para el diseño de estas losas es calcular las separaciones entre juntas, lo cual garantiza que los esfuerzos generados por contracción y alabeo son pequeños. La cantidad de acero para mantener las juntas pequeñas, se diseña a partir de la ecuación de arrastre de la sub-rasante.

El refuerzo que se coloca para limitar el ancho de junta y grieta, queda atravesada en las juntas, y debe tener un área de acero entre 0.8% a 2.25% del área de la sección nominal del concreto. Para estas cantidades de refuerzo se espera que el acero limite el ancho de junta y a su vez no sea tan rígido para bloquear el movimiento del paño.

Si en caso se coloquen áreas de acero grandes y continuas atravesadas en las juntas se tiene un riesgo de que los movimientos de contracción no se generen, por lo que se podría acumular esfuerzos y en consecuencia tener un comportamiento dominante con separaciones muy grandes en algunas juntas, ocasionando problemas en la serviciabilidad de la losa.

Por otro lado, la transferencia de carga a través de la junta, las losas reforzadas para limitar el ancho de grieta, tienen un mejor comportamiento del mecanismo de entrelazamiento de agregado cuya finalidad es producir ancho de juntas pequeñas para limitar el ancho de grieta. Ya que, el acero que atraviesa las juntas ayuda a la transferencia de carga de un paño a otro.

Finalmente, el cortante por punzonamiento en el perímetro del área se revisa el aporte del acero en la losa.

1.3.4.2. Comportamiento de las losas sin refuerzo

Este tipo de losas no presentan ningún tipo de refuerzo (barras de acero, mallas electro-soldadas, fibras, pos-tensión).

En las juntas se pueden incluir dovelas u otro mecanismo que permita la transferencia de carga entre paños. Asimismo, el ancho de juntas para este tipo de losas será mayores en comparación con las losas reforzadas para limitar el ancho de grieta. Y se espera que con el tiempo la transferencia de cargas a través de la junta por medio del entrelazamiento o fricción del agregado, al generarse la fisura debajo de la junta, este disminuya y la losa se mueva libremente en dirección vertical.

Es importante saber que las losas sin refuerzo no se recomiendan para losas industriales con tráfico, debido a que son susceptibles a los movimientos relativos entre juntas cuando no se incluyan los mecanismos de transferencia de carga. Sin embargo, solo se puede utilizar para aplicaciones con tránsito de vehículos si se incluyen los mecanismos de transferencia.

El fenómeno del agrietamiento generado por las cargas se puede manejar con un adecuado diseño de espesor de losa, con la finalidad de que la capacidad

del concreto soporte las cargas estáticas y dinámicas. A pesar de que con la separación de junta se pretende aliviar o reducir los esfuerzos de contracción y alabeo del concreto, se puede realizar un cálculo de los esfuerzos producidos en el panel por estos fenómenos e incluirlos a los generados por las cargas para el diseño del espesor.

Este diseño al ser simple y tomar pocas consideraciones de serviciabilidad, las losas sin refuerzo pueden tener una mayor tendencia a presentar problemas con un uso intensivo de la estructura. Además, el ACI 302 sugiere que un agrietamiento del 3% de los paños es una expectativa real para este tipo de losas.

1.3.4.3. Factor de seguridad

Las losas sin refuerzo y las losas reforzadas para limitar el ancho de grieta se diseñan por la metodología de esfuerzos de trabajo para disminuir la capacidad del material, por lo que el factor de seguridad en estos diseños se debe escoger adecuadamente para cada proyecto, dependiendo de las características de funcionamiento del proyecto y de la calidad de los materiales que se vayan a implementar.

Algunas consideraciones básicas para escoger el factor de seguridad deben ser:

1. Consecuencias por la falla como falta de productividad, pérdida de beneficio, costo de reparación.
2. Característica de contracción del concreto a utilizar.
3. Suavidad y planicidad de la capa de apoyo de la losa.
4. Espaciamiento y tipo de junta.

5. Investigaciones geotécnicas para determinar las propiedades superficiales y profundas del suelo.
6. Cantidad de repetición de carga esperdas.
7. Impactos que puede tener la losa.
8. Cargas tempranas.

Sin embargo, el factor de seguridad se debe aumentar si el análisis no es positivo para el proyecto y se puede minimizar si tiene las características ideales.

Tabla 8: Factores de seguridad recomendados por ACI - 360

Tipo de carga	Factores comunes	Factores ocasionales
Llantas móviles	1.7 – 2	1.4 – 2
Concentradas (postes y rack)	1.7 – 2	Mayores en circunstancias especiales
Distribuidas	1.7 – 2	1.7 límite inferior
Lineales	1.7	2 es un límite conservador
Construcción	1.4 - 2	-

Fuente: ACI committee 360.

- FS = 1.4 se utiliza en condiciones no muy demandadas. Cuando las cargas son pequeñas y no existen cargas de impacto.
- FS = 1.7 es el factor más utilizado.
- FS = 2.0 es un valor conservador. Se utiliza cuando las cargas, las características de suelo y los materiales no se conocen bien al momento de diseñar.

Para $FS > 2$, se utiliza $FS = 2.5$ para análisis que no cuentan con cargas de las juntas y las esquinas.

1.3.5. Determinación de la tendencia del sistema de construcción de losas reforzadas con fibras.

Las fibras como refuerzo en una losa industrial ha sido utilizadas hace muchos años con la finalidad de mejorar la plasticidad del concreto a temprana edad, además de mejorar sus propiedades en estado endurecido. Con este fin, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- En el caso del concreto reforzado con refuerzo convencional no garantiza evitar la falla; pero cuando se adhieren fibras al concreto, éstas proporcionan la ventaja de una distribución que permite el control del agrietamiento por contracción plástica, además de proveer resistencia al impacto, fatiga, choques térmicos y abrasión. (Trottier, 2002)
- Las fibras contribuyen a la generación de un gran número de delgadas grietas, pero con una mayor resistencia a su propagación. Adicional a esto se afirma que la durabilidad es mejorada y el número de juntas requerido es menor. (Barro, 2005)
- El uso del concreto reforzado con fibras en la construcción de pisos industriales, contribuye una reducción en el plazo de construcción y costo de mano de obra. (Navas, 2010)
- El ACI, 2010 menciona que las macrofibras sintéticas en proporciones de 0.2 a 1% del volumen del concreto, incrementa la

resistencia residual post-agrietamiento, mejorando sus propiedades, con juntas de contracción espaciadas.

- Finalmente, la incorporación de fibras como refuerzo secundario transforma el comportamiento frágil del concreto a dúctil, debido que permite transferir el esfuerzo. (Michals, 2012)

1.3.6. Costos derivados de una construcción de una losa industrial

Con el objetivo de abatir costos durante el proceso constructivo de un piso industrial, rara vez existe un trabajo de conjunto entre todas las partes involucradas: calculista, geotecnista, proveedor de concreto, contratista y propietario. Este hecho trae como consecuencia que, durante el proceso de ejecución, todas las partes velen únicamente por sus propios intereses sin detenerse a evaluar otros aspectos concernientes a alguna de las otras partes, situación que puede converger a la pérdida de calidad en el producto final.

1.3.6.1. Costo de una perspectiva contable-financiera

Desde esta perspectiva la construcción de un buen piso de concreto requiere por parte del propietario una descripción precisa de sus procesos, equipos y materias primas que se utilizan. Y por parte del ingeniero, las especificaciones adecuadas del piso de concreto, determinando el nivel de calidad necesaria para el uso proyectado de la instalación, determinando la calidad de los componentes, es decir, no solo aspectos relacionados con el espesor, reforzamiento y resistencia del concreto, sino además la necesidad del uso de algún endurecedor superficial. (Vidaud, 2011)

1.3.6.2. Costo de una perspectiva económica

El problema más común en la construcción de pisos de concreto, industriales, comerciales o de tráfico ligero es la confusión entre el concepto de “costo” y las características que pueda tener algún evento indeseable. A causa de la naturaleza del negocio una nueva construcción de pisos industriales incluye muchas características indeseables. Es por ello que en la experiencia en el diseño y construcción de losas de concreto con o sin refuerzo, nace la interrogante si las losas reforzadas proporcionan un mejor comportamiento que aquellas que no lo están. Sin embargo, no debemos olvidar que el refuerzo significa un costo adicional en la losa y para que este costo se justifique, el acero deberá diseñarse de acuerdo a la función que éste se espere, así como colocarse de manera adecuada. (Arqhys, 2012)

Es importante indicar que existe una diferencia entre el tratamiento económico de los costos que conlleva la construcción de una losa reforzada con acero y una losa reforzada con macrofibras. Que además de las deficiencias habituales que se tienen en los pisos, como un curado no apropiado, juntas muy separadas y malos diseños de mezclas de concreto, el problema menos tratado y, sin embargo, de gran importancia es el espesor de la losa. Donde el incremento del espesor de una losa, es una de las maneras más sencillas y efectivas para el mejoramiento en el comportamiento de los pisos. De hecho, el costo total de la losa deber ser un porcentaje menor, debido a que la preparación de la subrasante y los costos del acabado superficial serán los mismos. Sin embargo, el PCA menciona que, para un incremento en los costos de material, existe un incremento en la capacidad de carga. Por ejemplo, para una losa de 10 cm (4 pulg) que se

incrementa en un 50 % su espesor, hay un 125 % de incremento en capacidad de carga.

Un piso industrial de concreto es el resultado de la planeación, los detalles del diseño, la selección apropiada de materiales, especificaciones completas, inspección apropiada y buena mano de obra.

1.3.6.3. Costos de una perspectiva estratégica – comercial

Desde esta perspectiva la construcción de pisos industriales, tiene la finalidad de determinar la serviciabilidad, que se define como la capacidad de mantener las condiciones aptas para el funcionamiento durante la vida útil, sin embargo, esta condición se ven incrementadas al incorporar fibra en las losas apoyadas sobre suelos. Como también. Asimismo, la durabilidad de la losa de la misma forma aumenta por lo que la inversión económica al incorporar fibras se respalda con un mayor beneficio de la losa, independientemente del uso que se le dé.

Finalmente, en cuanto a la seguridad de ejecución. El uso de macrofibras que se suelen incorporar al concreto, brinda una garantía mucho mayor a la calidad de ejecución de los pisos y pavimentos, puesto a que las barras o mallas de acero deben posicionarse correctamente para que cumplan adecuadamente su función y a pesar de los cuidados, esta tarea a menudo falla, además, es difícil recortar las mallas de acero electrosoldadas con cierta precisión en el caso de losas irregulares. Este problema desaparece cuando se opta por incorporar macrofibras. (Altamirano, M. Pombo, R. Giaccio, G. & Zerbino, R. 2017)

De manera adicional cuando se usan macrofibras no es necesario costear desperdicios ni tener en cuenta el corte, amarre y sus de espaciadores, ya que son

procedimientos exclusivos del refuerzo convencional por medio de barras o mallas electro-soldada. En cuando al transporte, no es necesario el uso de herramientas especiales para el manejo en obra. (Carrillo, J. Silva, D. Sánchez, M. 2016)

1.3.7. Conceptos básicos para la reducción de los costos para losas industriales

Las empresas constructoras y los contratistas de pisos industriales buscan a menudo construir pisos industriales con el mejor nivel de especificaciones y la mejor tecnología disponible. Dicha tecnología a punta a reducir los costos del propietario sin sacrificar el funcionamiento del piso, pero es difícil lograrla sin antes recopilar una cantidad substancial de información. La recolección de información comienza con el propietario, y probablemente también se requiera las aportaciones de un ingeniero en estructuras, y el ingeniero responsable de la mecánica de suelos. Dicha información nos conlleva a implementar diseños acordes con las necesidades y requerimientos, dando como resultado una excelente rentabilidad en el diseño, construcción y uso. (Cemex, 2012)

1.3.8. Metodología de diseño para los pisos que apoyan directamente sobre terreno (Slab on Ground)

Cuando la losa se carga de manera uniforme en toda su superficie y cuenta con un apoyo uniforme en la subrasante, los esfuerzos que se generan se deben solo a las restricciones volumétricas impuestas a la losa. Sin embargo, la mayoría de las losas están sometidas a cargas no uniformes.

En la actualidad existen diversas metodologías para el diseño de losas de concreto apoyadas sobre el terreno. Estas metodologías se basan tanto en el diseño convencional como el reforzado con fibras. Las normas que rigen estos diseños corresponden al código de diseño ACI 360R y Tr-34, las cuales se asientan

principalmente en la teoría de Westergaard, la cual fue elaborada en el año 1920.
(ICH, 2013)

1.3.8.1. Metodología de diseño convencional

El diseño de la losa de concreto, se inicia sin un refuerzo (diseño elástico), donde se toma la consideración de que la losa se encuentra apoyada de forma continua sobre el suelo. Donde el espesor de determina con la resistencia del concreto alcanzado y la capacidad portante del suelo en el que se encuentre. Consiguiente a esto, se calcula el refuerzo para la losa, para prevenir la aparición de grietas por contracción, temperatura y los momentos a las que estará sometida la losa.

De esta forma, el ACI 360 incluye los siguientes métodos para el determinar el espesor de la losa por medio de tablas, fórmulas o ábacos, correspondientes a:

- Método de Westergaard – Define la carga en tres puntos diferentes de a losa: el centro, el borde y la esquina.
- Método de la Asociación de Cemento Portland de EEUU (PCA) – Su análisis se basa en nomogramas para el cálculo del espesor de losa. El PCA supone para el cálculo que todas las cargas se encuentran en el interior de la losa. Los tipos de carga que se pueden analizar son ejes duales y simples, cargas concentradas y cargas uniformemente distribuidas.
- Método de Instituto de Refuerzo con Cable (WRI) – Su análisis se basa en elementos finitos por medio de computadora. Al igual que el

del PCA se basa únicamente en cargas internas en la losa. Los tipos de carga que se pueden analizar son cargas de ejes de vehículos.

- Método del cuerpo de Ingenieros de los EEUU (COE) – Su análisis se basa en las ecuaciones de Westergaad para cargas de borde. Los tipos de carga que se pueden analizar son llantas y ejes de vehículo. (Westergaard, 1926)

1.3.8.2. Metodología de diseño con fibras

Esta metodología de diseño se realiza de la misma manera que el de las losas sin refuerzo. Se realiza un diseño elástico con la metodología de esfuerzo de trabajo. Se calcula el espesor necesario para soportar los esfuerzos de flexión generados por las cargas por medio de las metodologías expuestas anteriormente como lo son: Westergaard, PCA, WRI o COE. Sin embargo, para realizar este diseño se usa el siguiente método como guía del Concrete Society Technical Report N°34:

- Método británico – Su análisis de diseño asume que el concreto carece de refuerzo y considera la redistribución de momentos y generación de rotulas plásticas en la losa. Además, el análisis del esfuerzo último de las losas fue realizado por Meyerford (1962) basado en el análisis plástico, desarrollando ecuaciones para diferentes posiciones de carga (interna, al borde y en la esquina), como diferentes combinaciones de carga (Yield Line Theory).

1.3.9. Aplicación del Software de Diseño SIKAFIBER®SAVE

SIKAFIBER®SAVE es un software de la propiedad de la empresa SIKA, utilizado para el diseño de losas industriales fibroreforzadas, en donde las fibras son consideradas como refuerzo principal.

Este programa se basa en 3 metodologías de diseño: el método elástico, la metodología de Yield Line Theory y la mecánica de la fractura no lineal.

El criterio de diseño que prevalece en el programa, es el del cálculo de verificación del espesor de la losa, a su vez el software permite establecer valores tales como el CBR, el módulo de reacción de la subrasante “k”, entre otros. Asimismo, este programa admite el cálculo de las tensiones causada por múltiples configuraciones de cargas como lineales, puntuales, distribuidas, sistemas de estantería, montacarga, etc.

1.4. Formulación del problema

¿Qué tan beneficioso resulta el empleo de la fibra macrosintética SikaFiber Force-60, en el costo de las losas industriales de concreto en el área de almacenamiento, evaluado mediante el software Sika®Fiber SAVE, Trujillo 2021?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Realizar un análisis económico del uso de macrofibras sintéticas SikaFiber Force-60 mediante el software Sika®Fiber save para losas industriales de concreto, Trujillo 2021.

1.5.2. Objetivos específicos

- Presentar el estado de arte acerca de la construcción de losas industriales de concreto con macrofibras sintéticas.
- Estudiar los datos de entrada del software Sika®Fiber SAVE de acuerdo a la modelación del problema planteado.
- Determinar el costo de losas industriales con alternativas de construcción tradicionales y construcción con el uso de macrofibras sintéticas.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

El uso de macro fibras en losas industriales apoyadas sobre el suelo; mejoran el comportamiento mecánico del piso industrial. Si se evalúan parámetros de la interacción losa-suelo mediante el software SikaFiber SAVE, se puede encontrar una optimización, buscando tanto beneficios mecánicos como reducción de costos para aplicaciones en la construcción de losas de concreto en el sector industrial, Trujillo 2021.

Tabla 9: Componentes Metodológicos.

Hipótesis General	Componentes Metodológicos			Componentes Referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
El uso de macro fibras en losas industriales apoyadas sobre el suelo; mejoran el comportamiento mecánico del piso industrial. Si se evalúan parámetros de la interacción	Macro fibras sintéticas SikaFiber Force-60 <hr/> Análisis económico: beneficios	Losas industriales de concreto	Mejora y desarrollo e innovación	Trujillo	2021

losa-suelo mediante mecánicos y
el software reducción de
SikaFiber SAVE, se costos.
puede encontrar una
optimización,
buscando tanto
beneficios
mecánicos como
reducción de costos
para aplicaciones en
la construcción de
losas de concreto en
el sector industrial,
Trujillo 2021.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. Diseño de Investigación

2.1.1.1. Por el fin y propósito: Investigación Aplicada

En este tipo de investigación según su propósito es “aplicada” ya que ésta busca la ampliación de conocimientos con fines de aplicación inmediata a la realidad. Por otro lado, busca encontrar mecanismos o estrategias que permitan resolver un objetivo concreto, por ello el análisis con el software Sika@Fiber Save, busca encontrar rentabilidad para ser aplicado en losas industriales.

2.1.1.2. Por el diseño: Investigación No Experimental

Este tipo de investigación según su diseño es de tipo no experimental por tal motivo que no se manipulan de manera deliberada las variables que se están estudiando. Agregado a esto se dice que, en un estudio no experimental, no se construye ninguna situación, por lo que se ve situaciones ya existentes, que no son provocadas intencionalmente en la investigación por el investigador.

El no experimental: se define como la investigación que es realizada sin manipular sus variables donde solo se llegan a observar los fenómenos en su ambiente natural para posteriormente analizarlos. (Hernández, 2003)

2.1.1.3. Por el nivel: Investigación Descriptiva

Esta investigación por su nivel es “descriptiva”, puesto que se hará una evaluación por medio de análisis, registros donde se interpretará toda la información recolectada. Seguido a ello tiene como objetivo principal indagar la incidencia de las modalidades de una o más variables en una población. También ya que se centra en el objeto de estudio o en algo concreto, de tal manera que ordena, sistematiza y agrupa los

datos para analizar en este caso la viabilidad económica. Por otro lado, este usa un razonamiento analítico, ya que consiste en observar dando como resultado la viabilidad económica.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

En la presente investigación, al ser de tipo descriptiva, la población está representada por los diseños de losas industriales que no contemplen el uso de macrofibras sintéticas dentro de su proceso constructivo, específicamente en la mezcla de concreto.

2.2.2. Muestra

El diseño de una losa industrial que no contemple el uso de macro fibras sintéticas dentro de su proceso constructivo.

2.2.3. Unidad de estudio

Diseño de una losa industrial reforzado con macrofibra en la ciudad de Trujillo.

2.2.4. Operacionalización de variables

Una de las cualidades más notorias del programa SikaFiber SAVE, es que cuenta con diversos parámetros que pueden ser modificados por el usuario de acuerdo a sus requerimientos específicos. Entre los parámetros modificables se encuentra: la dosificación de fibras sintéticas, asignación de carga, rigidez del suelo, espesor de losa, resistencia del concreto ($f'c$). Donde el análisis económico se refleja en un concreto reforzado con fibras de polipropileno a bajas dosificaciones.

2.2.4.1. Variable

- Fibras Macrosintéticas Sika Fiber Force-60.

- El análisis económico mediante el software Sika®Fiber Save.

Tabla 10: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	CLASIFICACION		
		RELACIÓN	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR ES
Fibras Macrosintéticas SikaFiber Force-60.	Sika Fiber Force-60 es una fibra macro sintética para un uso estructural en hormigón proyectado y concreto que tiene la capacidad de aumentar su durabilidad y disminuir costos frente a refuerzos convencionales.	dependiente	Referente al uso de fibras Macro sintéticas en losas industriales.	Análisis de costos Unitarios.

<p>Análisis económico mediante software Sika@Fiber Save</p>	<p>El Software SikaFiber herramienta versátil que permite el diseño de las losas fibroreforzadas bajo diferentes cargas para buscar beneficios mecánicos como reducción de costos.</p>	<p>dependiente</p>	<p>Análisis de costos que estudia la estructura y evolución de resultados obtenidos por el Software Sika@Fiber SAVE.</p>	<p>Diseño de losa de concreto reforzado.</p> <p>Parámetros de modelado de las losas industriales.</p> <p>Criterios de aceptación de las losas industriales.</p>
---	--	--------------------	--	---

2.2.5. Matriz de consistencia

Tabla 11: Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
GENERAL				INDICADORES
Formulación del problema	O. General: Realizar un análisis económico del uso de macrofibras sintéticas SikaFiber Force-60 mediante el Software Sika®Fiber SAVE para losas industriales de concreto, Trujillo 2021.	H.General: El uso de macro fibras en losas industriales apoyadas sobre el suelo; mejoran el comportamiento mecánico del piso industrial. Si se evalúan parámetros de la interacción losa-suelo mediante el software SikaFiber SAVE, se puede	V.O.1: Sika Fiber Force-60 es una fibra macro sintética para un uso estructural en hormigón proyectado y concreto que tiene la capacidad de aumentar su durabilidad y disminuir costos frente a refuerzos convencionales. V.O.2: El Software SikaFiber herramienta versátil que permite el diseño de losas fibroreforzadas bajo	Diseño de Investigación: Por el fin y propósito: Investigación Aplicada. Por su diseño: Investigación no experimental. Por el nivel: Investigación descriptivo Investigación Población: la población está representada por los diseños de losas
¿Qué tan beneficioso resulta el empleo de la fibra macrosintética SikaFiber Force-60 en el costo de las losas industriales de concreto en el área de almacenamiento, evaluado mediante el software Sika®Fiber SAVE, Trujillo 2021?	O. Específicos: Presentar el estado de arte acerca de la construcción de losas industriales de concreto con			Análisis de costos Unitarios.

<p>macrofibras sintéticas.</p>	<p>encontrar una optimización, buscando tanto beneficios mecánicos como reducción de costos para aplicaciones en la construcción de losas de concreto en el sector industrial, Trujillo 2021.</p>	<p>diferentes cargas para buscar beneficios mecánicos como reducción de costos.</p>	<p>Diseño de losa de concreto reforzado.</p> <p>Parámetros de modelado de las losas industriales.</p> <p>Criterios de aceptación de las losas industriales.</p>	<p>industriales que no contemplen el uso de macrofibras sintéticas dentro de su proceso constructivo, específicamente en la mezcla de concreto.</p>
<p>Estudiar los datos de entrada del software Sika®Fiber SAVE de acuerdo a la modelación del problema planteado.</p>	<p>reducción de costos para aplicaciones en la construcción de losas de concreto en el sector industrial, Trujillo 2021.</p>	<p></p>	<p>Muestra:</p> <p>El diseño de una losa industrial que no contemple el uso de macro fibras sintéticas dentro de su proceso constructivo.</p>	<p></p>
<p>Determinar el costo económico del proceso constructivo de losas industriales con alternativas de construcción tradicionales y construcción con el uso de macrofibras sintéticas.</p>	<p></p>	<p></p>	<p></p>	<p>Unidad de estudio:</p> <p>Diseño de una losa industrial reforzado con macrofibra en la ciudad de Trujillo.</p>

**Materiales,
instrumentos y
métodos**

**Técnicas e
instrumentos de
recolección de
datos:**

Técnica: La
observación,
documentos y
registros

Instrumento:
Guía de
observación y
revisión
documental.

**Técnicas de
análisis de datos:**

Inferencia
numérica y
estadística.

Análisis a través
del diseño de losas
de concreto
mediante el

Software
Sika®Fiber SAVE.

Software: SPSS

Prueba de
hipótesis, Shapiro
wilk (datos
normales), prueba
paramétrica, T
Student.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnica de recolección de datos

Los investigadores de esta tesis realizaron la recolección de datos a través del método de inspección visual, donde esta viene ser la observación, esta es la técnica que permitió obtener datos reales sin que estos sean manipulados, por consiguiente, sirvieron para poder realizar procedimientos de la utilización de fibras sintéticas en losas industriales mediante el software SIKA®FIBER SAVE, donde en esta se determinó la eficacia del aditivo que fue sometido a estudio

2.3.2. Instrumento de recolección de datos

En este punto, el instrumento empleado para la recolección de datos fue una Laptop, utilización de internet, Excel 2016 y Word 2016.

Por otro lado, tenemos a la ficha resumen que actualmente nos ayuda almacenar los datos principales de un tema a estudiar, es importante ya que en ella ponemos definición, procedimiento, parámetros de diversas fuentes que nos sirve de guía en el momento de realizar el procedimiento de la tesis y estas suelen utilizarse de forma original. Seguido a ello también tenemos a la matriz de categorías donde ella nos da una estructura u orden de información de mayor importancia a menor de un tema a estudiar.

2.3.3. Validación de instrumento de recolección de datos

La validez y confiabilidad lo realizó el ingeniero Vásquez Díaz Alberto Rubén, con N° CIP 166228, quien cuenta con alta experiencia y a su vez es especialista en el área, realizando estudios de tecnología del concreto en Engiengzone certificados por ASTM y ACI, teniendo vigente en la actualidad la certificación internacional ACI técnico de campo grado 1.

2.3.4. Técnicas de análisis de datos

En esta investigación se empleó la técnica de estadística descriptiva debido a que la presente investigación es de tipo no experimental y transversal, por tanto, se usaron tablas de frecuencia y gráficos estadísticos para representar y plasmar los datos recopilados.

Por otro lado, este proyecto de investigación, todos los datos que se recopilen serán procesados en una matriz correspondiente en el programa Microsoft Excel del paquete de Office:

La tabla de frecuencia en Excel, es quien nos ayudará a conocer fácilmente las cantidades, números que serán multiplicados por un precio unitario. En este caso se pusieron en un lado valores obtenidos de acuerdo al producto de cantidades y costos que se le coloco a las mallas electrosoldadas vs las fibras sintéticas.

Los gráficos circulares también fueron añadidos en esta investigación ya que nos facilitó de visualizar de manera eficaz la optimización porcentual de los materiales como las mallas electrosoldadas y fibras sintéticas.

Se empelará el software Sika@Fiber Save para analizar los datos hallados en la revisión documentaria y, apelando al juicio de experto de nuestro asesor, se determinará el mejor comportamiento de la adición de la macrofibra en la optimización de los procesos constructivos para losas industriales materia de la presente investigación.

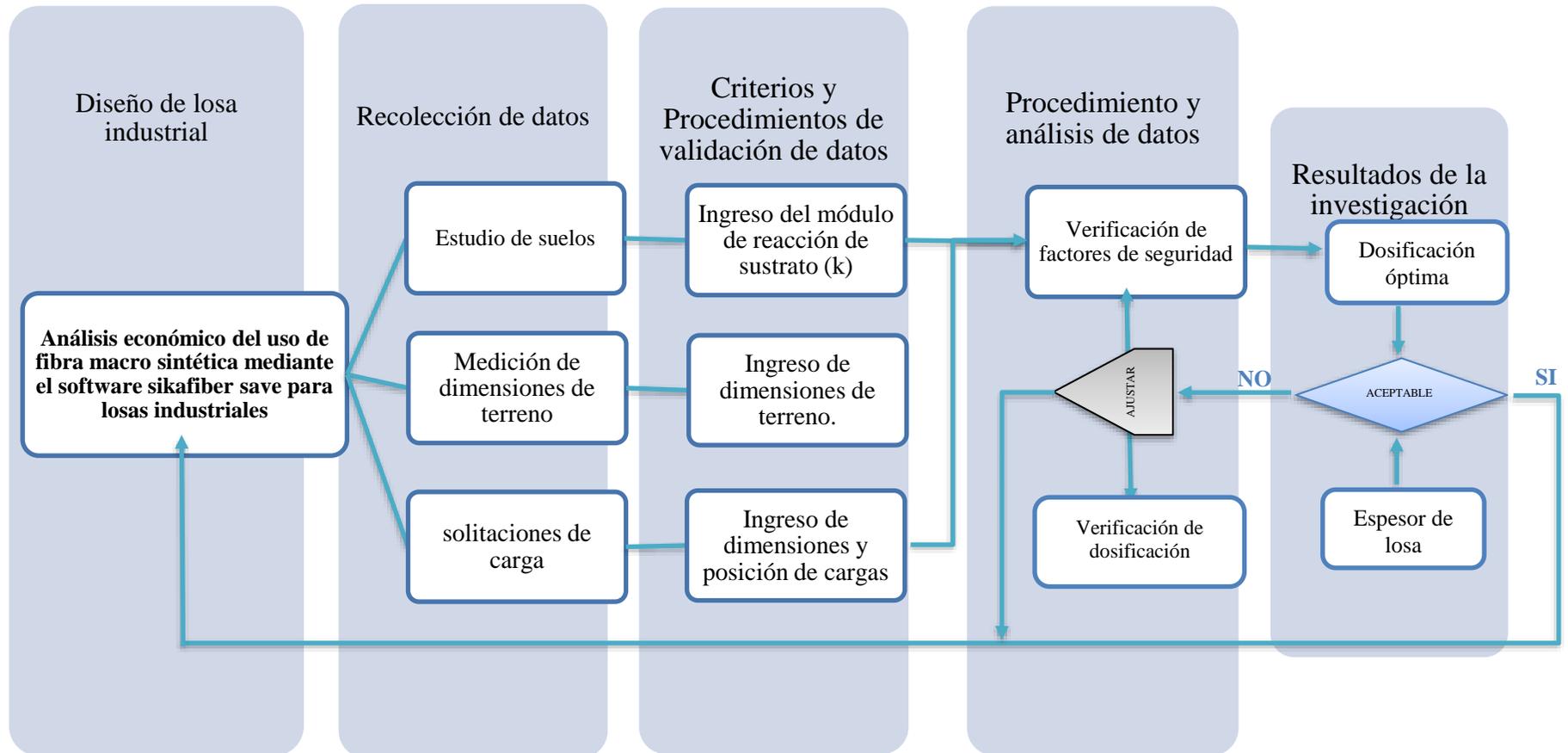
2.3.5. Aspectos éticos

Esta tesis está basada a los principios éticos, ya que garantiza total transparencia, autenticidad en su totalidad de la investigación. Por otro lado, en la parte del desarrollo de la investigación se tuvo en cuenta la veracidad de sus

resultados, también el respeto por la propiedad intelectual de distintos autores.

Finalmente, también se tuvo en cuenta el respeto a la privacidad, la responsabilidad y la honestidad, ante todo.

2.4. Procedimiento



2.4.1. Obtención de datos

En la zona de estudio ubicada en TRUJILLO, se utilizaron herramientas de medición para obtener el área, perímetro, como también se recogió información necesaria respecto a la mecánica de suelos, donde se validó y analizó los datos para poder lograr los objetivos de esta investigación.

2.4.1.1. Estudio de suelos

El estudio de suelos tiene una función muy práctica, donde nos permitió conocer las características físicas, químicas y mecánicas de la zona de estudio, en esta investigación todos los datos que nos proporcionaron fueron efectuados por trabajos de exploración en campo y ensayos de laboratorio, utilizando las normas vigentes.

2.4.1.2. Medición de dimensiones del terreno

Se utilizó la técnica de replanteo en la zona de estudio donde se obtuvo la verificación del área del terreno de 1300 m², para su posterior análisis en el software, para ello se utilizó como instrumento de medición la cinta métrica.

2.4.1.3. Solicitaciones de cargas

Las cargas a considerar son las cargas estáticas (Cargas puntuales), que para este estudio se consideró “Pallet Racking”, que son estantes formados por marcos arriostrados ubicados en los extremos y distanciados una longitud. Estos marcos están conformados por dos pilares y claros salvados con vigas, sobre las cuales se ubican las tarimas de madera con las cargas.

2.4.2. Procesamiento de datos en el software

Con los parámetros de diseño obtenidos de la zona de estudio, se procedió a ingresarlos al software como el espesor de la losa, espacio articular, área total, cargas

puntuales, ancho y longitud de la placa base, ancho del rack y longitud del bastidor, resistencia a la compresión, máxima resistencia a la flexión y módulo de elasticidad.

2.4.2.1. Ingreso del módulo de reacción del sustrato (K)

Con base a este estudio, se obtuvo el valor del CBR, determinando el módulo de la subrasante (K), para ello se utilizó lo siguiente. (Ver Figura N° 37).

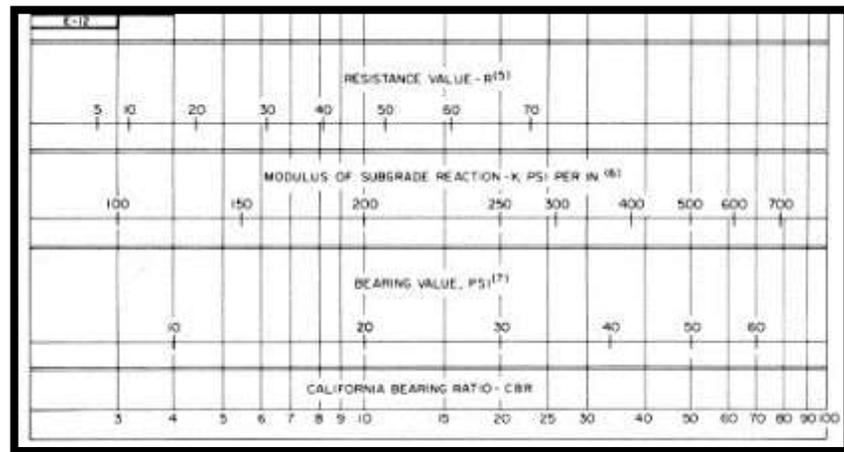


Figura 37: Interrelaciones aproximadas de clasificaciones de suelos y valores de carga. (Nota: 1psi/pul.=0.271 kPa/mm; 1 psi = 6.90 kPa).

Fuente: ACI committe 360

2.4.2.2. Ingreso de dimensiones de terreno

Los valores obtenidos de la dimensión del terreno de la zona de estudio conforman un área de 1300 m², dicho valor se corroboró en el replanteo.

2.4.2.3. Ingreso de dimensiones y posición de cargas

La dimensión y posición de carga de “Pallet Racking”, cuyos estantes formados por marcos arriostrados conformados por dos pilares, tienen dimensiones de placa base de 150 mm de ancho y 200 mm de largo, y los claros entre cada marco que se salvan con vigas, sobre las cuales se ubican las tarimas de madera con las cargas. Se consideró la tarima con una capacidad de 50 kN.

2.4.3. Resultados

En este punto, los resultados obtenidos en el procesamiento en el software, se detalló la dosis exacta para la aplicación de las fibras macro sintética, para el pavimento industrial que se encuentra ubicado en la ciudad de TRUJILLO - LA LIBERTAD.

2.4.3.1. Obtención de resultados

Para la obtención de resultados en el software se recopiló y se analizó la información obtenida en la zona de estudio ubicado en la ciudad de TRUJILLO - LA LIBERTAD. Donde se pudo determinar los valores óptimos para producir un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con adición de macro fibras, obteniendo así una dosis de 3kg/m^3 .

A partir de la información obtenida del software se puede observar que la adición de macro fibras en la elaboración de una losa industrial de 1300 m^3 con un espesor de 20cm y una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, influye considerablemente en la durabilidad de la losa, cumpliendo los rangos establecidos de factores de seguridad.

Por último, se tuvo en cuenta los costos de la construcción de la losa industrial lo cual se consideró que el concreto $f'c 210$ a utilizar tuvo un costo de $\text{S/} . 210.00$ por m^3 , seguido de la fibra sintética con un costo de $\text{S/} . 18.70$ por kg , también movimiento de tierras con un costo de $\text{S/} . 35.00$ por m^2 y otros (sellos, curado, etc.) a $\text{S/} . 10.00$ por m^2 , todo lo anterior (Ver en tabla 20 y 21).

2.4.4. Análisis de resultados

2.4.4.1. Análisis desde la perspectiva económica

En esta investigación se busca la optimización del recurso económico, ya que constituye una de las variables limitantes más grandes, que conlleva a un fin, el de obtener mayor beneficio por cada unidad monetaria invertida. En este tema de pavimentos industriales, los diferentes criterios de diseño, así como también los metodológicos y desarrollo de nuevos materiales, dan nuevas alternativas que comprometen a este proyecto, por lo que se realiza el análisis económico comparativo entre las mallas electrosoldadas y fibra macro sintética para obtener un mayor beneficio posible.

En este proyecto, se obtuvo que con el diseño tradicional (mallas electrosoldadas), generaba un impacto negativo en el tema de costos, ya que demanda más tiempo por la mano de obra y costos excesivos en acero, por otro lado, y con la ayuda del software se pudo observar que cumple con el requerimiento general de la losa industrial, resistencia, espesor óptimo, disminuyendo significativamente el tema de costos por la fibra macro sintética y mano de obra.

2.5. Desarrollo de la tesis

La presente investigación fue desarrollada desde el momento de la obtención de datos que se dio in situ, tales como la mecánica de suelos y datos del pavimento industrial, a través de los instrumentos de recopilación de información, para lo requerido por el software, donde se obtuvieron resultados que fueron óptimos para la obra de almacén y oficinas ubicada en la ciudad de TRUJILLO - LA LIBERTAD.

Añadiendo a ello, la obra posee un área total del terreno es de 7 872.01 m², donde básicamente se proyecta construir un almacén de 01 nivel con techo metálico

parabólico y oficinas de 04 niveles sin sótano, seguido a ello las luces de las columnas están entre 3.00 a 8.00 mts en ambos ejes. Asimismo, se encuentra en una zona sísmica 4, con un cbr de 15%, en las calicatas que se hicieron dieron como resultado en una profundidad de -0.5mts un material de relleno orgánico (OL), a -2.2mts una arcilla ligeramente plástica color beige oscuro, parcialmente humedad, estructura cohesiva, consistencia blanda (CL) y a -3.00mts una arena uniforme color beige amarillento (SP) (Ver Figura N° 38). Todos estos datos fueron efectuados por estudios por medio de trabajos de exploración en campo y ensayos de laboratorio, utilizando las normas vigentes.

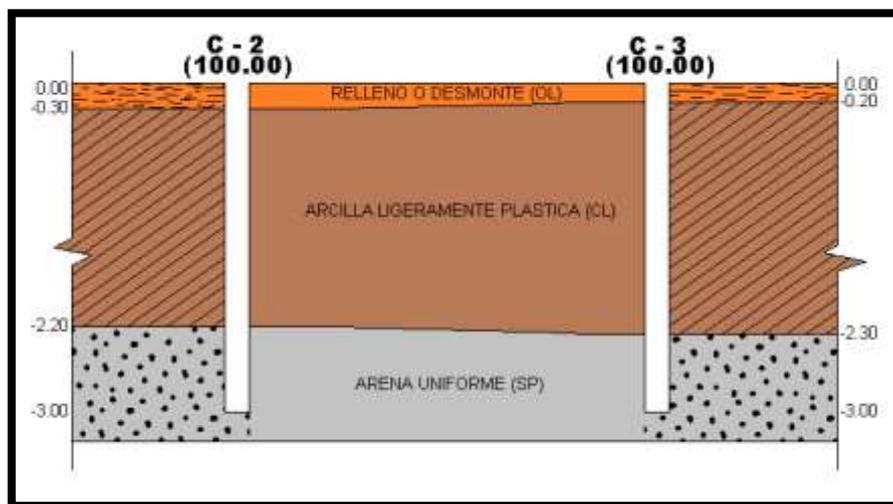


Figura 38: Muestra del tipo de suelo: Calicata 2 y 3

Seguido a ello, los investigadores para obtener esos datos y verificarlos tuvieron que hacer mediciones con cinta métrica a lo largo del perímetro, área, así como también conocer el espesor, tipo de concreto que se diseñó junto a la carga que soportara, para ingresar al software.

Tabla 12: Información de la losa Industrial

INFORMACIÓN DE LA LOSA INDUSTRIAL	
NOMBRE:	Losa industrial
ESPELOR DE LA LOSA [h]:	200 mm
ESPACIO ARTICULAR:	6.2 m
MODULO DE SUBRASANTE[k]:	0.060975 N/mm ³
TIPO DE UNIÓN	Corte de sierra
CLASE DE FIBRA:	macro

Fuente: Elaboración propia

Así mismo el área donde trabajaremos es solo de 1300 m², lugar donde ocupa toda la losa industrial, teniendo en cuenta el espesor de 200 mm con un espacio articular de 6.2 m, seguido a ello el software nos pide el módulo de la subrasante (K) (Ver tabla 10), este proviene desde el cbr que nos proporcionó los encargados de la mecánica de suelos utilizando la siguiente formula y conversión.

$$\frac{1 \text{ psi}}{\text{in}} = 0.271 \frac{\text{kpa}}{\text{mm}} \qquad 1 \text{ psi} = 690 \text{ kpa}$$

$$225 \frac{\text{psi}}{\text{in}} \times 0.271 \frac{\text{kpa}}{\text{mm}} = 60.975 \frac{\text{kpa}}{\text{mm}} \times 0.001 \frac{\text{N}}{\frac{\text{mm}^2}{1 \text{ kpa}}} = 0.060975 \frac{\text{N}}{\text{mm}^3}$$

Tabla 13: Cuadro resumen de parámetros obtenidos en obra.

LOSAS INDUSTRIALES SIKAFIBER	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO	
NOMBRE:	Losa industrial Sika
APLICACIÓN:	INDUSTRIAL
ESTÁNDAR ID:	ACI
UNIT:	METRICO
PAÍS:	PERÚ
CIUDAD:	La Libertad
TAMANO TOTAL:	1300 m ²
ESPELOR DE LA LOSA (h):	200 mm
ESPACIO ARTICULAR:	6.2 mtrs
CBR:	15%
MODULO DE SUBRASANTE (k):	0.060975 N/mm ³
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (F'c):	21 N/mm ²

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Información del Concreto

INFORMACIÓN DEL CONCRETO		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN F'C =	21	N/mm ²
MÁXIMA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN [f_r]	3.423	N/mm ²
Módulo de elasticidad [E]	21690	N/mm ²

Fuente: Elaboración propia

Seguido a ello, los investigadores de la tesis en la construcción leyendo las especificaciones técnicas y los requerimientos de obra, obtuvimos que fue diseñada para un $f'c$ de 21N/mm², donde a partir de esta el software procesa y nos bota la máxima resistencia a la flexión (f_r) y módulo de elasticidad (Ver Tabla N° 12), seguido a ello fue necesario aplicar las siguientes formulas.

$$MR = 0.75x \sqrt{f'c} ; 1Mpa = \frac{N}{mm^2} \dots \dots \dots (Fr)$$

$$E = 4700x \sqrt{f'c} \dots \dots \dots (M.E.)$$

Tabla 15: Información de carga puntual individual de estantería (RACK).

INFORMACIÓN DE LA CARGA		
NOMBRE:	RACK	
Tipo de carga	cargas puntuales	
Tipo de carga puntual	punto individual	
Cargas puntuales Pu [P u]	50	KN
Ancho de la placa base N [n]	150	mm
Longitud de la placa base M [m]	200	mm

Fuente: Elaboración propia

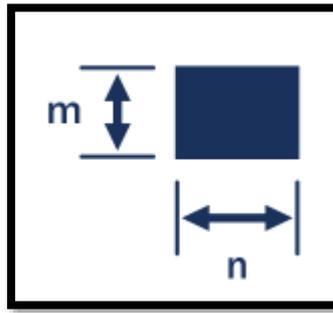


Figura 39: Información de rack

Fuente: SIKAFIBER SAVE

Tabla 16: Información de la carga de punto doble de estantería (RACK).

INFORMACIÓN DE LA CARGA		
NOMBRE:	RACK	
Tipo de carga	cargas puntuales	
Tipo de carga puntual	punto doble	
Cargas puntuales P_u [P u]	50	KN
Ancho de la placa base N [n]	150	mm
Longitud de la placa base M [m]	200	mm
Distancia espalda con espalda de racks (z)	600	mm

Fuente: Elaboración propia

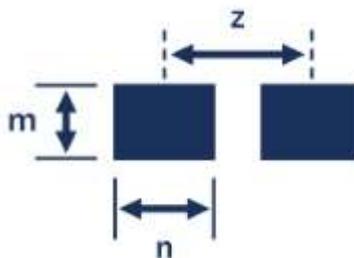


Figura 40: Información de rack

Fuente: SIKAFIBER SAVE

Tabla 17: Información de la carga de punto cuádruple de estantería (RACK).

INFORMACIÓN DE LA CARGA		
NOMBRE:	RACK	
Tipo de carga	cargas puntuales	
Tipo de carga puntual	punto cuádruple	
Cargas puntuales P_u [P u]	50	KN
Ancho de la placa base N [n]	150	mm
Longitud de la placa base M [m]	200	mm
Ancho de rack X [x]	1000	mm
Longitud de bastidor Y [y]	2300	mm

Fuente: Elaboración propia

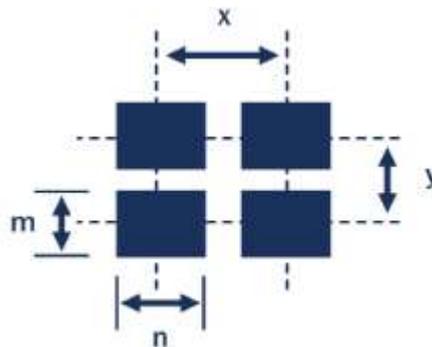


Figura 41: Información de rack

Fuente: SIKAFIBER SAVE

Como se muestra en la Tabla N° 12, la carga puntual para este pavimento industrial es de 50KN, el ancho de la placa base es de 150 mm, la longitud de la placa base es de 200 mm (Ver Anexo N° 05), el ancho de rack X es de 1000 mm y en Y es de 2300 mm (Ver Anexo N° 02).

Posteriormente, en cuanto a los materiales en la presente investigación se hace una comparación entre losa reforzada con mallas electrosoldadas contra las fibras macro sintéticas, para ello tuvimos que buscar información de diferentes fuentes de cómo se trabaja convencionalmente, así como también ver algunos metrados de la obra real y el impacto negativo económico generado, por otro lado en

esta tesis se utilizó el software de Sika donde nos facilitó economizar costos, al disminuir espesor y conocer la cantidad de fibra por metro cubico a utilizar.

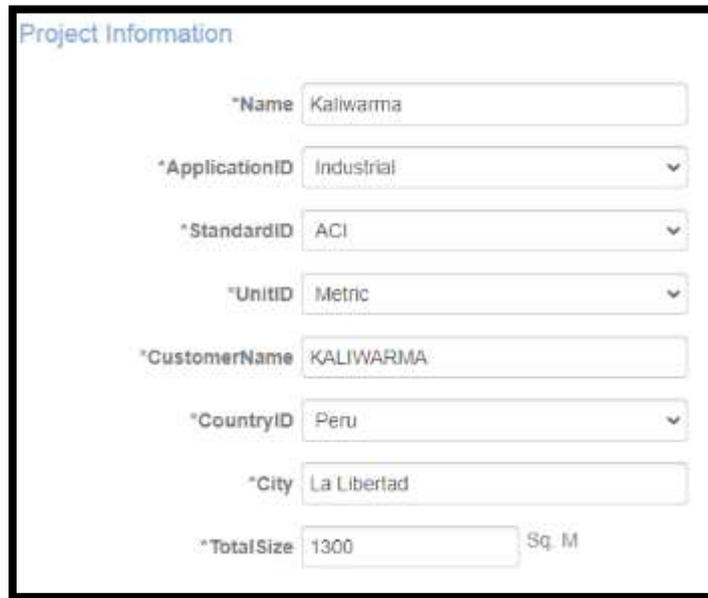
Finalmente, los investigadores analizaron el tema económico, desde el punto de reducción de tiempo, hasta la comparación de precios entre la malla electrosoldada con la fibra macro sintética, así mismo la durabilidad y mejor reforzamiento a menor costo, que será útil en las próximas construcciones de pavimentos industriales.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

3.1. Análisis económico

3.1.1. Parámetros de modelado de la losa industrial

En la siguiente Figura se muestra la información del proyecto que nos pide el software SIKAFIBER SAVE, donde nos detalla el nombre, su aplicación, unidad y ciudad.

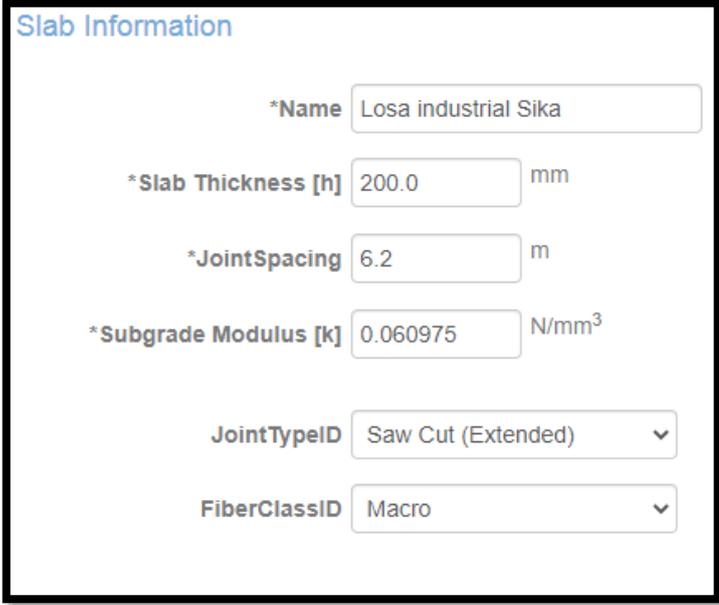


Project Information	
*Name	Kaliwarma
*ApplicationID	Industrial
*StandardID	ACI
*UnitID	Metric
*CustomerName	KALIWARMA
*CountryID	Peru
*City	La Libertad
*TotalSize	1300 Sq. M

Figura 42: Información del proyecto en el software.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la información del proyecto en el software SIKAFIBER SAVE, donde se detalla el espesor de la losa (h), el espacio articular (m.), el modulo de la subrasante (N/mm³), el tipo de articulación y clase de fibra a utilizar.



Slab Information	
*Name	Losa industrial Sika
*Slab Thickness [h]	200.0 mm
*JointSpacing	6.2 m
*Subgrade Modulus [k]	0.060975 N/mm ³
JointTypeID	Saw Cut (Extended)
FiberClassID	Macro

Figura 43: Información de la losa.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la información del proyecto de forma concreta, donde nos detalla la resistencia a la compresión (N/mm²), su máxima resistencia a la flexión (N/mm²) y su modulo de elasticidad (N/mm²).

Concrete Information

*CompressiveStrength [f_c] N/mm²

*UltimateFlexuralStrength [f_r] N/mm²

*Modulus of Elasticity [E] N/mm²

Figura 44: Losa industrial sika - información concreta.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la información de carga del proyecto, donde nos detalla el nombre, tipo de carga, tipo de punto de carga, carga puntual (kN), ancho de la placa base (mm), longitud de la placa base (mm).

Load Information

*Name

*LoadTypeID

*PointLoadTypeID

*PointLoadsPu [P_u] kN

*BaseplateWidthN [n] mm

*BaseplateLengthM [m] mm

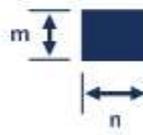
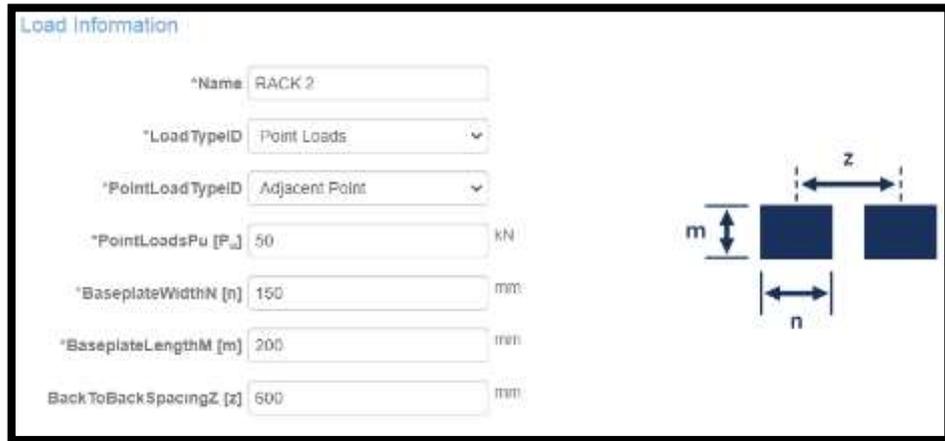


Figura 45: Información de carga individual.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la información de carga del proyecto, donde nos detalla el nombre, tipo de carga, tipo de carga de punto doble, carga puntual (kN), placa de base (mm), longitud de la placa base (mm), y espaciado de eje a eje (mm).



Load information

*Name: RACK 2

*LoadTypeID: Point Loads

*PointLoadTypeID: Adjacent Point

*PointLoadsPu [P_u]: 50 kN

*BaseplateWidthN [n]: 150 mm

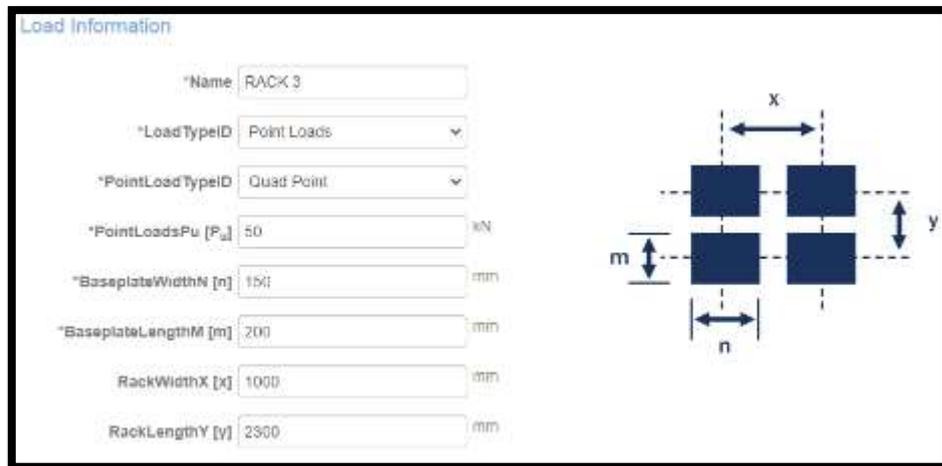
*BaseplateLengthM [m]: 200 mm

BackToBackSpacingZ [z]: 600 mm

Figura 46: Información de carga doble.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la información de carga del proyecto, donde nos detalla el nombre, tipo de carga, tipo de punto de carga cuádruple, carga puntual (kN), placa de base (mm), longitud de la placa base (mm), ancho del rack (mm) y alto del rack (mm).



Load information

*Name: RACK 3

*LoadTypeID: Point Loads

*PointLoadTypeID: Quad Point

*PointLoadsPu [P_u]: 50 kN

*BaseplateWidthN [n]: 150 mm

*BaseplateLengthM [m]: 200 mm

RackWidthX [x]: 1000 mm

RackLengthY [y]: 2300 mm

Figura 47: Información de carga.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

3.1.2. Diseño de losa de concreto reforzado

En la siguiente Figura se muestra la información general de la losa industrial del proyecto, donde nos detalla el nombre, resistencia del concreto, resistencia a la flexión, modulo de elasticidad, espesor de la losa, espaciado y la relación de poisson.

<u>User Input</u>	
Concrete Information	
Slab Name	Losa industrial Sika
Concrete Compressive Strength	$f'_c = 21 \text{ N/mm}^2$
Concrete Flexural Strength	$f_r = 3.423 \text{ N/mm}^2$
Modulus of Elasticity	$E = 21,690 \text{ N/mm}^2$
Slab Thickness	$h = 200.00 \text{ mm}$
Joint Spacing	$JS = 6.20 \text{ m}$
Poisson's Ratio	$\nu = 0.20$

Figura 48: Información general de la losa industrial.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la información del modulo del subsrante, el cual se calcula desde el valor de cbr hasta la conversión que se mostro con anterioridad cuyo valor nos da 0.061 K/mm³.

Subgrade Information	
The subgrade is assumed to be a uniform medium whose elasticity is characterized by the resulting deflection of a given force over a distributed unit area. Westergaard termed this 'modulus of subgrade reaction', k as the load per unit area causing a deflection with units lbs/in ³ or N/mm ³ .	
Modulus of Subgrade	$k = 0.061 \text{ N/mm}^3$

Figura 49: Información de subrasante.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la información de la fibra que se utiliza, cuyo tipo es SikaFiber enduro 600, que quiere decir que es una macro fibra, que sirve como refuerzo al concreto y actua en su estado endurecido.

Fiber Information	
Fiber Type	SikaFiber Enduro 600

Figura 50: Información de fibra.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la información de la cantidad de fibra que se utiliza, la dosis que se requiere para el proyecto es de 3.00 kg/m³, cumpliendo con la resistencia de tracción residual que se quiere del concreto.

Fiber Quantity	3.00 kg/m ³
----------------	------------------------

Figura 51: Cantidad de fibra.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la información de la relación de flexión equivalente que nos da el software SIKAFIBER SAVE, cuyo valor es de 31.7%.

Equivalent Flexural Ratio
<small>R_{eq} is the measure of the fiber reinforced concrete in sustaining a load after the first crack. The value is determined by testing as indicated in ASTM C1609, EN14651 or JSCE SF-4.</small>
R _{eq} = 31.7%

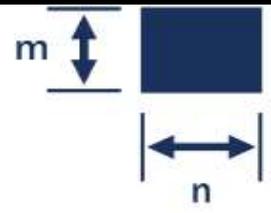
Figura 52: Relación de flexión equivalente.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la información de carga de un solo punto, donde se puede ver el nombre de la carga, el valor de la carga puntual, longitud de la placa base y ancho de la placa base.

Single Point Load Information

Load Name	RACK 1
Point Load	P = 50.0 kN
Baseplate Length	m = 200 mm
Baseplate Width	n = 150 mm



Note: If the load is near a free edge then m is the dimension parallel to the edge.

Figura 53: Información de carga de un solo punto.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra los factores de carga, donde su reducción de material Y_m es de 1.5 y su factor de carga parcial Y_f es de 1.2 .

Material & Load Factors

Material Reduction Factor, Y_m	$Y_m = 1.5$
Partial Load Factor, Y_f	$Y_f = 1.2$

Figura 54: Materiales y factores de carga.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra el valor del radio de rigidez relativa cuyo valor reemplazando en la formula es de 705.00 mm.

Radius of Relative Stiffness

Radius of Relative Stiffness is the stiffness measurement of the combined concrete elasticity and subgrade capacity, as defined by Westergaard;

$$L = \left[\frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)k} \right]^{0.25} = 705.00 \text{ mm}$$

Figura 55: Radio de rigidez relativa.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra el valor del área de contacto de carga, que se expresa dividiendo la carga de un solo punto entre el radio de rigidez relativa cuyo valor es de 0.14



Figura 56: Área de contacto de carga.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la formula para el calculo de momento permitido, cuyo valor se obtiene de la suma de $M_p + M_n$, dando como respuesta 20,035.96 N-mm/mm.

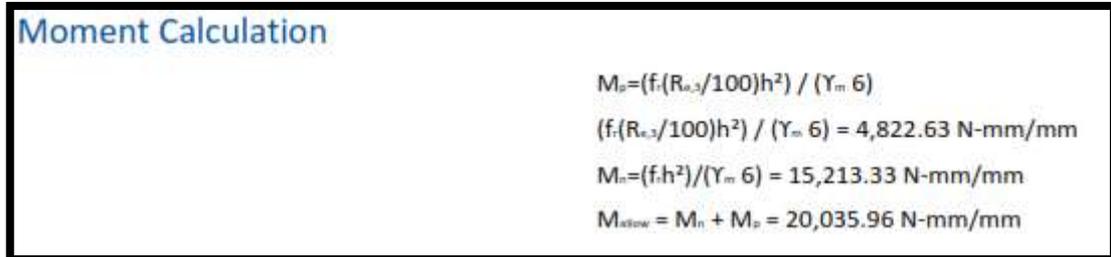


Figura 57: Cálculo de momento.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la carga permitida para un solo punto, donde nos muestra formulas para cargas interiores, borde, esquina.

Allowable Load For Single Point Load	
Single point loads are spaced at a distance greater than 3.0L	
Interior Load	
Where $a/L = 0$	$P_{i1} = 2 \pi M_{allow}$
Where $a/L \geq 0.2$	$P_{i2} = (4 \pi M_{allow}) / (1 - (a/3L))$
Where $0 < a/L < 0.2$	$P_{i3} = P_{i2} + [(P_{i2} - P_{i1}) (a/L)] / 0.2$
Edge Load	
Where $a/L = 0$	$P_{e1} = \pi / 2 M_{allow} + 2 M_n$
Where $a/L \geq 0.2$	$P_{e2} = (\pi M_{allow} + 4 M_n) / [1 - (2a/3L)]$
Where $0 < a/L < 0.2$	$P_{e3} = P_{e2} + [(P_{e2} - P_{e1}) (a/L)] / 0.2$
Corner Load	
Where $a/L = 0$	$P_{c1} = 2 M_n$
Where $a/L \geq 0.2$	$P_{c2} = 4 M_n / (1 - a/L)$
Where $0 < a/L < 0.2$	$P_{c3} = P_{c2} + [(P_{c2} - P_{c1}) (a/L)] / 0.2$

Figura 58: Carga permitida para un solo punto.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra resultados de cargas permitidas, como lo son las cargas de interiores, borde y esquina, así como también nos muestra el área de contacto de rigidez que se determinó anteriormente, además de los factores de seguridad.

Allowable Load			
	Interior	Edge	Corner
P_1 (kN)	125.89	61.90	40.07
P_2 (kN)	263.98	136.40	93.04
P_3 (kN)	221.59	113.53	76.78
a/L	0.14	0.14	0.14
Controlling Load Case, P (kN)	221.59	113.53	76.78
$P_u = \gamma P_i$ (kN)	60.00	60.00	60.00
Factor of Safety, P / P_u	3.69	1.89	1.28

Because a/L ($= 0, \geq 0.2, \text{ or } > 0 \text{ and } < 0.2$)

Figura 59: Carga permitida.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la información de la relación de flexión equivalente que nos da el software SIKAFIBER SAVE, cuyo valor es de 31.7%.

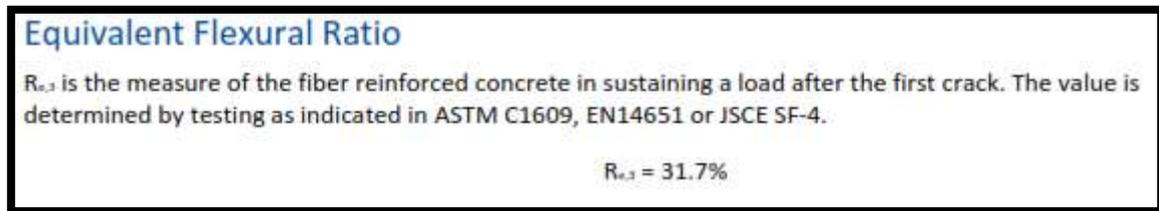


Figura 60: Relación de flexión equivalente.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la información de carga de punto adyacente, donde se puede ver el nombre de la carga, el valor de la carga puntual, longitud de la placa base, ancho de la placa base y la distancia de eje a eje.

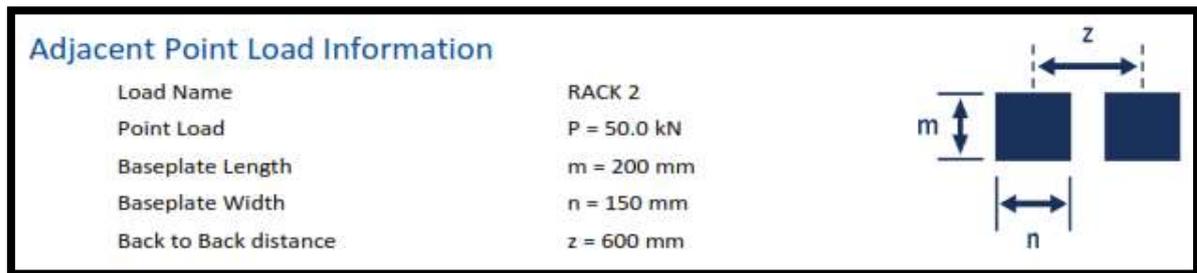


Figura 61: Información de carga de punto adyacente.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra los factores de carga, donde su reducción de material Y_m es de 1.5 y su factor de carga parcial Y_f es de 1.2 .



Figura 62: Materiales y factores de carga.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra el valor del radio de rigidez relativa cuyo valor reemplazando en la formula es de 705.00 mm.

Radius of Relative Stiffness

Radius of Relative Stiffness is the stiffness measurement of the combined concrete elasticity and subgrade capacity, as defined by Westergaard;

$$L = [(Eh^3)/(12(1-\nu^2)k)]^{0.25} = 705.00 \text{ mm}$$

Figura 63: Radio de rigidez relativa.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra el valor del área de contacto de carga, que se expresa dividiendo la carga de un solo punto entre el radio de rigidez relativa cuyo valor es de 0.31

Load Contact Area

Adjacent Point Loads where $z > 2h$

$$a = [(2(mn/\pi)^{0.5}z + (mn)) / \pi]^{0.5} = 216.51 \text{ mm}$$

a/L Ratio = 0.31

Figura 64: Área de contacto de carga.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la formula para el calculo de momento permitido, cuyo valor se obtiene de la suma de $M_p + M_n$, dando como respuesta 20,035.96 N-mm/mm.

Moment Calculation

$$M_p = (f_c(R_{s,3}/100)h^2) / (\gamma_m \cdot 6)$$

$$(f_c(R_{s,3}/100)h^2) / (\gamma_m \cdot 6) = 4,822.63 \text{ N-mm/mm}$$

$$M_n = (f_y h^2) / (\gamma_m \cdot 6) = 15,213.33 \text{ N-mm/mm}$$

$$M_{allow} = M_n + M_p = 20,035.96 \text{ N-mm/mm}$$

Figura 65: Cálculo de momento.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la carga admisible para carga puntual adyacente, donde nos muestra las formulas o rangos permitidos que pueden estar las cargas de interior y borde.

Allowable Load For Adjacent Point Load

Interior Load

Where $a/L = 0$	$P_{i1} = [2 \pi + (1.8 (z) / L)] * M_{allow}$
Where $a/L \geq 0.2$	$P_{i2} = [4 \pi / [1 - (a / L) / 3] + [1.8 (z) / L - (a / 2)]] * M_{allow}$
Where $0 < a/L < 0.2$	$P_{i3} = P_{i1} + [(P_{i2} - P_{i1}) (a / L)] / 0.2$

Edge Load

No equations are provided for dual point loads positioned at the edge of a slab when the loads are spaced a distance greater than 2h. Therefore the allowable internal load should be factored down using the ratio of edge to internal load calculated using the approach used for a single point load.

Therefore adopt ratio;

Single point load edge / single point load internal

Interior Load

Where $a/L = 0$	$P_{i1} = 2 \pi M_{allow}$
Where $a/L \geq 0.2$	$P_{i2} = (4 \pi M_{allow}) / (1 - (a/3L))$
Where $0 < a/L < 0.2$	$P_{i3} = P_{i1} + [(P_{i2} - P_{i1}) (a / L)] / 0.2$

Edge Load

Where $a/L = 0$	$P_{e1} = \pi / 2 M_{allow} + 2 M_n$
Where $a/L \geq 0.2$	$P_{e2} = (\pi M_{allow} + 4 M_n) / [1 - (2 a / 3 L)]$
Where $0 < a/L < 0.2$	$P_{e3} = P_{e1} + [(P_{e2} - P_{e1}) (a / L)] / 0.2$

Figura 66: Carga admisible para carga puntual adyacente.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra resultados de cargas permitidas, como lo son las cargas de interiores, borde y esquina, así como también nos muestra el área de contacto de rigidez que se determinó anteriormente, además de los factores de seguridad.

Allowable Load		
	Interior	Edge
P_1 (kN)	156.58	76.99
P_2 (kN)	316.75	175.79
P_3 (kN)	402.53	228.13
a/L	0.31	0.31
Controlling Load Case, P (kN)	316.75	175.79
$P_u = \phi P_r$ (kN)	120.00	120.00
Factor of Safety, P / P_u	2.64	1.46

Because a/L ($= 0, \geq 0.2$, or > 0 and < 0.2)

Figura 67: Carga admisible.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la información de la relación de flexión equivalente que nos da el software SIKAFIBER SAVE, cuyo valor es de 31.7%.

Equivalent Flexural Ratio
$R_{e,3}$ is the measure of the fiber reinforced concrete in sustaining a load after the first crack. The value is determined by testing as indicated in ASTM C1609, EN14651 or JSCE SF-4.
$R_{e,3} = 31.7\%$

Figura 68: Relación de flexión equivalente.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la información de carga de cuatro puntos, donde se puede ver el nombre de la carga, el valor de la carga puntual, longitud de la placa base, ancho de la placa base y la distancia de eje a eje de X y Y.

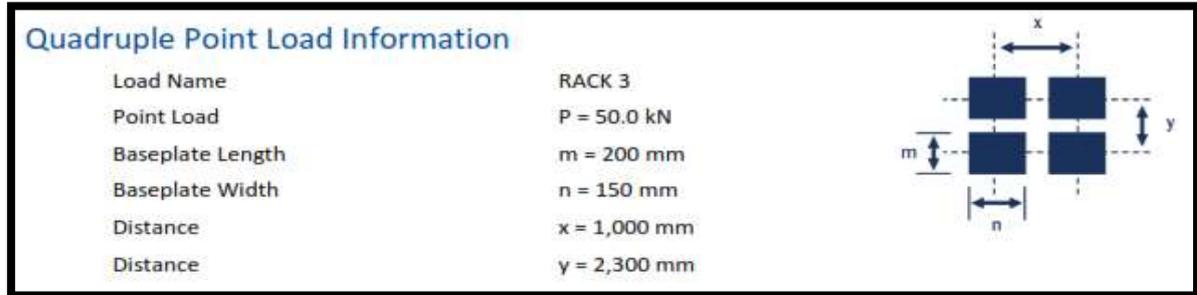


Figura 69: Información de carga de cuatro puntos.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra los factores de seguridad parciales, donde su reducción de material Y_m es de 1.5 y su factor de carga parcial Y_f es de 1.2 .



Figura 70: Materiales y factores de carga.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra el valor del radio de rigidez relativa cuyo valor reemplazando en la formula es de 705.00 mm.

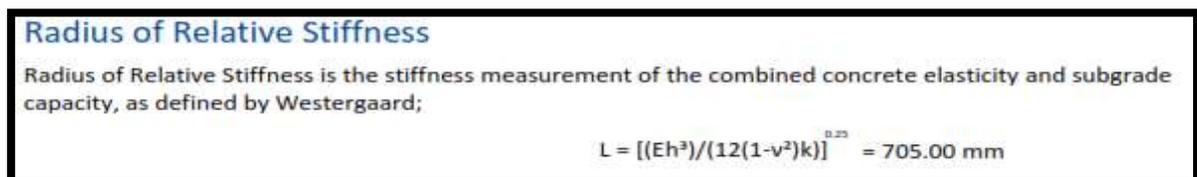


Figura 71: Radio de rigidez relativa.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra el valor del área de contacto de carga, donde las cargas puntuales cuadruples son mayores que el doble del espesor de la losa.

Load Contact Area

Quadruple Point Loads where x and y are > 2h

$$a = \left[\frac{(2(xy/\pi)^{0.5} + x) + (2(xy/\pi)^{0.5} + y)}{\pi} \right]^{0.5} = 974.46 \text{ mm}$$

a/L Ratio = 1.38

Figura 72: Área de contacto de carga.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la formula para el calculo de momento permitido, cuyo valor se obtiene de la suma de Mp + Mn, dando como respuesta 20,035.96 N-mm/mm.

Moment Calculation

$$M_p = (f_c (R_{s,y} / 100) h^2) / (\gamma_m \cdot 6)$$

$$(f_c (R_{s,y} / 100) h^2) / (\gamma_m \cdot 6) = 4,822.63 \text{ N-mm/mm}$$

$$M_n = (f_t h^2) / (\gamma_m \cdot 6) = 15,213.33 \text{ N-mm/mm}$$

$$M_{allow} = M_n + M_p = 20,035.96 \text{ N-mm/mm}$$

Figura 73: Cálculo de momento.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra resultados de cargas permitidas, como lo son las cargas de interiores, así como también nos muestra el área de contacto de rigidez que se determino anteriormente, además de los factores de seguridad.

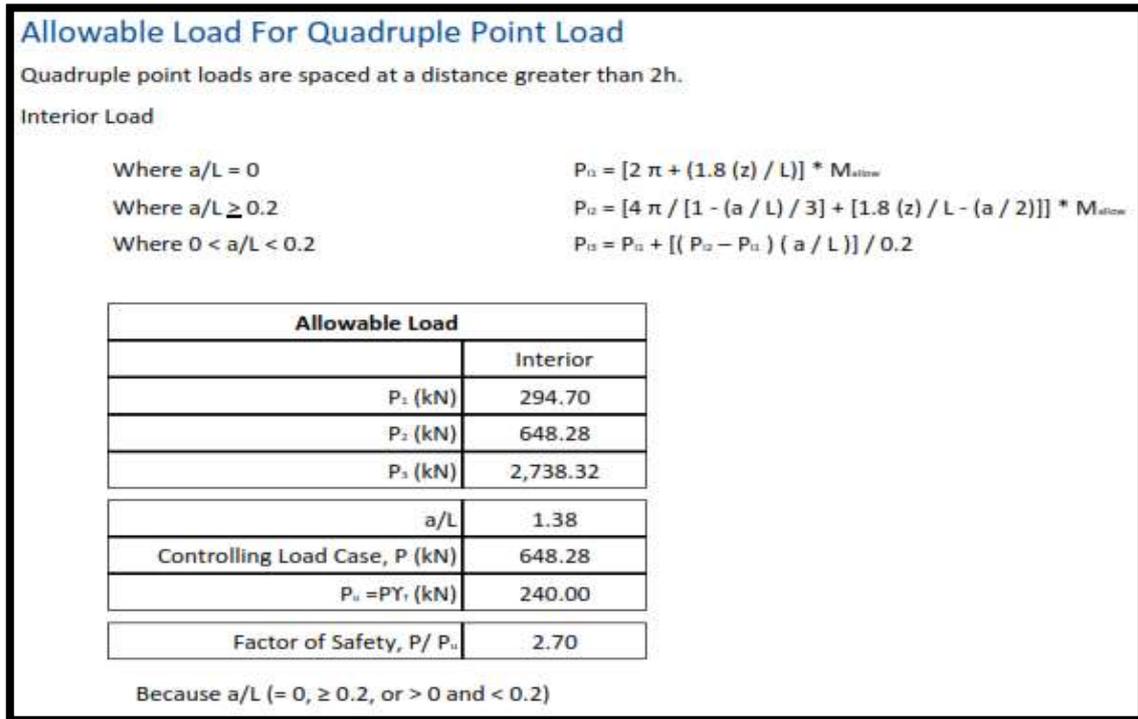


Figura 74: Carga permitida para carga cuádruple.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la carga de corte de punzonado aplicada en la cara, donde nos da resultados de carga de corte, perímetro de la cara interior, borde, esquina.

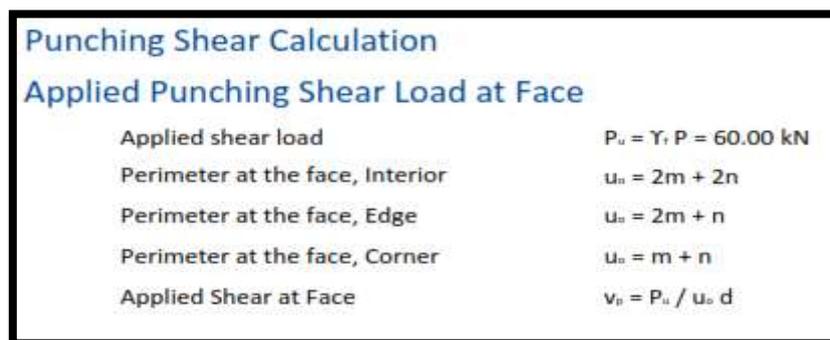


Figura 75: Carga de corte de punzonado aplicada en la cara.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la carga de corte de punzonado aplicada en la cara, donde nos da resultados de profundidad efectiva, factor de corte y máximo cortante.

Allowable Punching Shear Load At Face	
Punching shear capacity of the concrete is determined through checking the shear at the face of the contact area and at the critical perimeter, 2d from the face of the perimeter.	
Effective Depth	$d = 0.75 h = 150.00 \text{ mm}$
Shear Factor at Face	$k_s = 0.6 (1 - f_c / 250) = 0.55$
Maximum Allowable Shear Stress at Face	$v_{max} = 0.5 k_s f_c / \gamma_m = 3.85 \text{ N/mm}^2$

Figura 76: Carga de corte de punzonado aplicada en la cara.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra las cargas permitidas como las de interior, borde y equina.

Allowable Punching Shear at Face			
	Interior	Edge	Corner
Perimeter at the face, μ_c (mm)	700.00	500.00	350.00
Applied Shear at the face, v_s (N/mm ²)	0.57	0.80	1.14
Max Allowable Shear Stress, v_{max} (N/mm ²)	3.85	3.85	3.85
Factor of Safety, v_{max}/v_s	6.73	4.81	3.37

Figura 77: Cargas permitidas en la cara.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la carga de corte de punzonamiento aplicada en el perímetro crítico, donde nos da el corte de carga aplicada, reducción de la carga cortante interna, al borde, carga de corte de punzonado aplicada interna, al borde, perímetro en la cara del interior, borde y esquina.

Applied Punching Shear Load at Critical Perimeter	
Applied shear load	$P_u = Y_r P = 60.00 \text{ kN}$
Note that if $a/L < 0.2$, then the applied load can be reduced due to the reaction from the subgrade.	
Reduction of shear load, internal	$R_{cpi} = [1.4(d/L)^2 P_u + 0.47(m+n)(dP_u/L^2)] = 5.65 \text{ kN}$
Reduction of shear load, edge	$R_{cpe} = 2.4(d/L)^2 P_u + 0.8(m+2n)(dP_u/L^2) = 11.47 \text{ kN}$
Applied Punching shear load, internal	$P_{ri} = P_u - R_{cpi} = 54.35 \text{ kN}$
Applied Punching shear load, edge	$P_{re} = P_u - R_{cpe} = 48.53 \text{ kN}$
Note: reduction is not taken at the corner	
Perimeter at the face, Interior	$U_i = U_{n,interior} + 2 \pi d$
Perimeter at the face, Edge	$U_e = U_{n,edge} + 2 \pi d$
Perimeter at the face, Corner	$U_c = U_{n,edge} + \pi d$
Applied Shear at Face	$v_p = P_u / \mu_s d$

Figura 78: Carga de corte por punzonamiento aplicada en el perímetro crítico.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra la carga de corte por punzonado permitida en el perímetro crítico, donde nos muestra el factor de corte en la cara y cortante máximo.

Allowable Punching Shear Load at Critical Perimeter	
Shear Factor at Face	$k_s = 1 + (200/d)^{0.5} \leq 2$
Maximum Allowable Shear Stress at Critical Perimeter	$v_{max} = (0.035 k_s)^{1.5} f_c^{0.5} + 0.12 R_{e,3fr}$

Figura 79: Carga de corte por punzonado permitida en el perímetro crítico.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

En la siguiente Figura se muestra el punzonado permitida en el perímetro crítico, donde tenemos resultados de carga interior, al borde y esquina, además de los factores de seguridad.

Allowable Punching Shear at Critical Perimeter			
	Interior	Edge	Corner
Perimeter at the face, μ_i (mm)	2,584.96	1,442.48	821.24
Applied Shear at the face, v_s (N/mm ²)	0.14	0.22	0.49
Max Allowable Shear Stress, v_{max} (N/mm ²)	0.53	0.53	0.53
Factor of Safety, v_{max}/v_s	3.81	2.38	1.10

Figura 80: Punzonado permitida en el perímetro crítico.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

3.1.3. Factores de aceptación de la losa industrial

- Para un espesor de 20 cm

En la siguiente Figura se muestra la información final del proyecto donde el software SIKAFIBER SAVE da como resultado los factores de seguridad, siendo los rangos optimos respecto a la dosis de fibra(3kg/m³) y espesor de la losa (20cm).

Fiber Select

*FiberTypeID: SikaFiber Enduro 600 [Fiber Guide](#)

*FiberDosageID: 3

Green = Safety factor is equal to or greater than 1 – which is recommended
Red = Safety factor is below 1 – recommend increasing slab thickness or fiber dosage
 If you have any questions or if you require any additional information please do not hesitate to contact a FiberMesh representative

Load Name	Interior Safety Factor	Edge Safety Factor	Corner Safety Factor
RACK 1	3.69	1.89	1.28
RACK 2	2.64	1.46	
RACK 3	2.7		

Figura 81: Factores de seguridad para losa de espesor 20 cm.

Fuente: SIKAFIBER SAVE

3.2. Análisis comparativo de Costos – losa industrial

En la siguiente tabla se muestra los datos iniciales de la losa industrial donde expresa su espesor, diametro, espaciamiento de la malla de acero, el peso del refuerzo de acero (ml), la cantidad de acero por m2 y la dosificación de la fibra sintética.

Tabla 18: Datos de la losa kaliwarma recibidos por el contratista.

DATOS:		
LOSA KALIWARMA	1,300.00	m2
ESPEJOR DE LOSA	0.20	m
DIÁMETRO DE LA VARILLA DE ACERO	3/8"	pulg.
ESPACIAMIENTO DE LA MALLA DE ACERO	_.@.20	m
PESO DEL REFUERZO DE ACERO POR ML	0.56	kg/ml
CANTIDAD DE ML DE ACERO POR M2	10.00	m
KILOS DE SIKA FIBER FORCE 60 / M3 SUGERIDOS	3.00	kg/m3

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

El área de la losa Kaliwarma a construir es:

Área total de losa: $62.650 \times 19.65 \times 1.05 = 1293 \text{ m}^2 \approx 1300 \text{ m}^2$ (Ver anexo 4)

3.2.1. Losa industrial reforzada con malla electrosoldada

En la siguiente tabla que nos detalla la cantidad de acero en (ml) y (kg), donde se incluye la mano de obra y el costo del acero para las dimensiones de la losa que se muestra anteriormente, siendo de S/. 32,760.00.

Tabla 19: Análisis comparativo de costes con acero.

OPCIÓN 1 ACERO 1/2" @ .20			
Cantidad de acero en ml	13,000.00	ml de	3/8"
Cantidad de acero en kg	7,280.00	kg de	3/8"
Costo del kg de acero trabajado inc. MO	4.50	soles / kg	
Costo total de acero para su obra	32,760.00	soles	

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Cantidad de acero ml: $1300 \text{ m}^2 \times 10 \text{ ml/m}^2 = 13000 \text{ ml}$.

Cantidad de acero kg: $13000 \text{ ml} \times 0.56 \text{ kg/ml} = 7280 \text{ kg}$.

3.2.2. Losa industrial reforzada con fibra sintética

En la siguiente tabla 16 nos detalla la cantidad de concreto (m³) que entrara en la losa industrial del proyecto el cual es de 260.00, donde con esa cifra se calcula la cantidad de Fibra Sikafiber Force 60 el cual es S/. 14,586.00.

Tabla 20: Análisis comparativo de costes con fibra sintética.

OPCIÓN 2 FIBRA SINTÉTICA (3 kg/m³)			
Cantidad de m ³ concreto	260.00	m ³	
Total, SikaFiber Force 60 para su obra	780.00	kg	
Costo SikaFiber Force 60 x kg	18.70	soles/kg	
Costo total de SikaFiber Force 60 para su obra	14,586.00	soles	

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Cantidad de concreto m³: $1300 \text{ m}^2 \times 0.20 \text{ m} = 260.00 \text{ m}^3$

Total SikaFiber Force 60: $260 \text{ m}^3 \times \frac{3 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 780.00 \text{ kg}$.

Costo SikaFiber Force 60 x kg: $\$/ .5.5 \times 3.4 = \$/ .18.70 \times kg$

Costo total de SikaFiber Force 60: $780 \text{ kg} \times 18.70 = \$/ .14586.00$

3.2.3. Resumen de Costos

En la siguiente tabla 17 nos muestra el resumen de costos entre el acero y la fibra sintética, el cual es $\$/ .32,760.00$ y $\$/ .14,586.00$ respectivamente, concluyendo con el porcentaje de ahorro de 55.48 % que expresado en soles es de $\$/ .18,174.00$.

Tabla 21: Comparativa de costos.

ITEM	RESUMEN DE COSTOS	ACERO	vs.	FIBRA SINTÉTICA
1	Soles invertidos en refuerzo para su proyecto.	$\$/ .32,760$		$\$/ .14,586$
2	Ahorro (%)	0.0%		55.48%
3	Ahorro en soles (S/)	$\$/ .-$		$\$/ .18,174$

Fuente: Elaboración propia

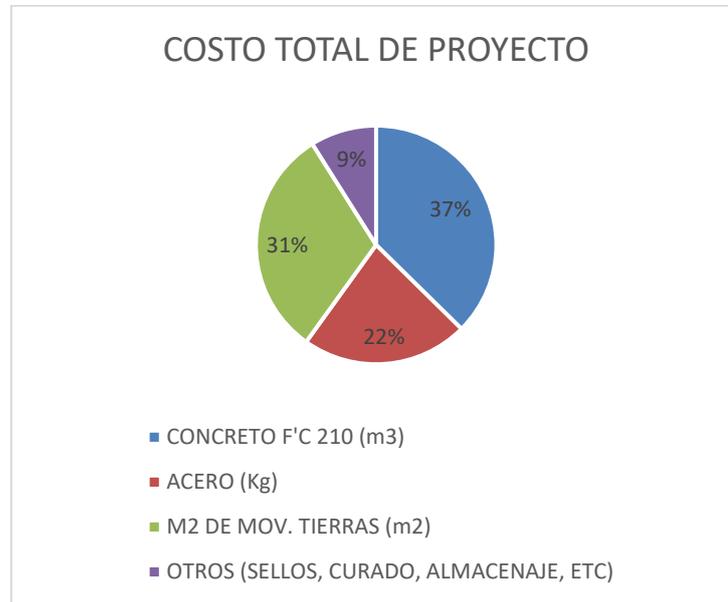
En la siguiente tabla 18 nos proyecta la partida real del acero incluyendo los precios unitarios, el cual en el concreto f'c 210 (m3) es de $\$/ .54,600.00$, acero (kg) es de $\$/ .32,760.00$., movimiento de tierras (m2) es de $\$/ .42,500.00$ y otros es de $\$/ .13,000.00$ donde expresado en porcentajes es de 37%, 22%, 31% y 9% respectivamente sumando $\$/ .145,860.00$.

Tabla 22: Partida incluido el acero en el proyecto real.

PARTIDAS PRINCIPALES	P.U.	COSTO TOTAL DE PROYECTO	%
CONCRETO F'C 210 (m3)	$\$/ .210.00$	$\$/ .54,600.00$	37%
ACERO (Kg)	$\$/ .4.50$	$\$/ .32,760.00$	22%
M2 DE MOV. TIERRAS (m2)	$\$/ .35.00$	$\$/ .45,500.00$	31%
OTROS (SELLOS, CURADO, ALMACENAJE, ETC)	$\$/ .10.00$	$\$/ .13,000.00$	9%
		$\\$/ .145,860.00$	100%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico circular 1: Porcentajes de la partida con el acero.



Fuente: Elaboración propia

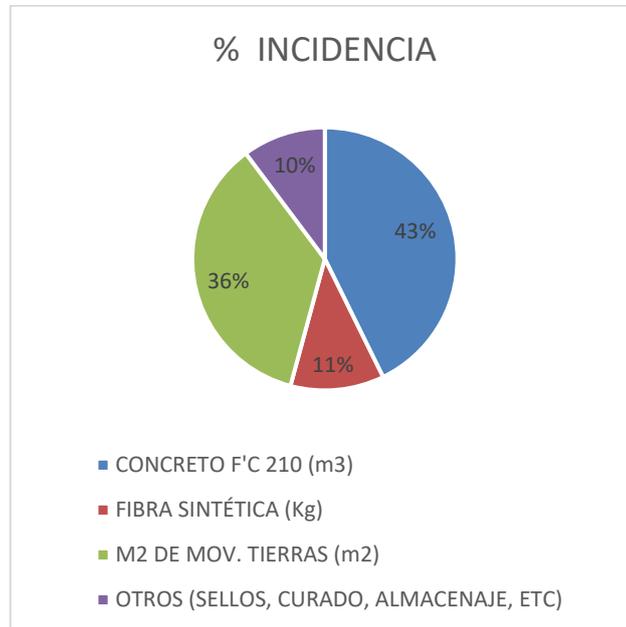
En la siguiente tabla 19 nos proyecta la partida real de la fibra sintética incluyendo los precios unitarios, el cual en el concreto f'c 210 (m3) es de S/.54,600.00, fibra sintética (kg) es de S/.14,586.00., movimiento de tierras (m2) es de S/.42,500.00 y otros es de 13,000.00 donde expresado en porcentajes es de 43%, 11%, 36% y 10% respectivamente sumando S/.127,686.00.

Tabla 23: Partida incluido la fibra sintética en el proyecto real.

PARTIDAS PRINCIPALES	P.U.	COSTO TOTAL DE PROYECTO	% INCIDENCIA
CONCRETO F'C 210 (m3)	S/. 210.00	S/. 54,600.00	43%
FIBRA SINTÉTICA (Kg)	S/. 18.70	S/. 14,586.00	11%
M2 DE MOV. TIERRAS (m2)	S/. 35.00	S/. 45,500.00	36%
OTROS (SELLOS, CURADO, ALMACENAJE, ETC)	S/. 10.00	S/. 13,000.00	10%
		S/. 127,686.00	100%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico circular 2: Porcentajes de la partida con la fibra sintética.



Fuente: Elaboración propia

Dónde:

En la tabla 20 nos muestra solo el analisis de precios unitarios de la partida movimiento de tierras, donde se tuvo en cuenta la remuneración de construcción civil el cual para el peón es de S/.16.78 por hora de jornada donde en 2 peones con rendimiento de 8m²/dia resulta S/.33.56 y se incluye las herramientas manuales el cual es el 3% de la mano de obra resultando S/.1.0068, dando como total la suma de S/.34.57.

Tabla 24: Análisis de precios unitarios - Movimiento de tierras

MOVIMIENTO DE TIERRAS						
		jornada:		8 h/d		
RENDIMIENTO		MO:	8	m2/día		
						34.5668
mano de obra		cuadrilla	cantidad	precio	subtotal	total
0147003	peón	2	2	16.78	33.56	33.56
					33.56	
equipos						
0137001	Herramientas manuales		3	33.56	1.0068	1.0068

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 21 nos muestra solo el analisis de precios unitarios de la partida concreto f'c 210 kg/cm2, donde se tuvo en cuenta la remuneración de construcción civil el cual para el peón es de S/.16.78 por hora de jornada donde su rendimiento es de 25 m3/día resultando la cifra de S/.33.56 además de ello se incluye el mixer donde se tuvo en cuenta las dimensiones del terreno siendo 260 m3 donde se utilizo un monto de S/. 200, dando como total la suma de S/. 210.74.

Tabla 25: Análisis de precios unitarios - Concreto f'c 210 kg/cm2

CONCRETO f'c 210 kg/cm2						
		jornada:		8 h/d		
RENDIMIENTO		MO:	25	m3/día		
						210.7392
mano de obra		cuadrilla	cantidad	precio	subtotal	total
0147003	peón	2	0.64	16.78	10.7392	10.7392
					10.7392	
equipos						
0137001	mixer		1	200	200	200

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Cabe mencionar que a través del tiempo se han realizado investigaciones que han permitido optimizar el ahorro económico a través de la inclusión de fibras en losas industriales y pavimentos. Investigadores que han marcado estas pautas son Arboleda Gustavo de la Universidad Católica Lumen Gentium, Santiago de Cali, Colombia. Meza de Luna Alejandro de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Córdoba Carlos de la Universidad de Costa Rica, Montalvo Marco de la Universidad Católica del Perú.

Arboleda G. (2018), ha desarrollado en su “Estudio de factibilidad técnica y económica para la elaboración de concreto, reemplazando la malla electrosoldada por fibras sintéticas”; donde se realizó una comparación de costos respecto a las mallas electrosoldadas contra las fibras sintéticas llegando al reemplazo de las mallas electrosoldadas por las fibras sintéticas, habiendo una disminución de costos en un 30%.

También, de acuerdo a los resultados obtenidos por la tesis de Córdoba C. (2015), titulada “Análisis comparativo teórico y económico, entre fibras sintéticas y de acero, utilizadas como refuerzo en las losas de concreto apoyadas sobre suelos”; la opción del uso con fibra x fiber-54 es un 35% más económica al diseño tradicional y para la fibra dramix 3d 80/60r, el ahorro es de 40% respecto a la del diseño tradicional.

Además de la investigación realizada por Meza, A. (2015), ha dirigido su estudio a la “Optimización del concreto reforzado con fibras de acero y polipropileno en pisos industriales, basado en análisis experimental y numérico”; realizó una comparación basados a criterios como la resistencia y costo, donde la fibra que obtuvo un mejor

desempeño fue la de polipropileno euclíc con 2.125 kg/m³ con respecto a la fibra de acero dramix con una dosificación de 20 kg/m³, ya que esta última según estudios tienen un costo similar al del refuerzo con malla de diámetro 10 mm. Además, que esta investigación recomienda al cuanto el tipo de suelo de soporte de la losa mejorar con 2% de cemento para reducir deformaciones producidas por iteración losa suelo, generando costos adicionales.

Por otro lado, en la tesis de Montalvo M. (2015), según su investigación de título “Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero vs pavimentos tradicionales”; los factores económicos para una losa con malla electrosoldada contra losas fibroreforzadas, hubo un ahorro equivalente del 18.7%, donde recomienda utilizar concreto reforzado con fibras optimizando costos que exige altas solicitaciones de carga.

A diferencia de estas investigaciones, en nuestra tesis se analiza económicamente las fibras de polipropileno con el propósito de obtener un gran porcentaje económico del uso de la fibra macro sintética mediante el software SIKAFIBER SAVE para losas industriales, contra los métodos tradicionales, como lo es el refuerzo de las mallas electrosoldadas en este tipo de losas, donde influyen muchos factores que demandan significativamente el valor económico, como lo es la mano de obra en la producción de concretos con malla electrosoldada, donde hay una demanda alta en el tiempo por las tareas que realizan los trabajadores como la colocación de espaciadores y cortes de la malla, generando costos adicionales.

Al observar el pequeño porcentaje de ahorro de estas investigaciones se pudo tomar en consideración que la utilización de herramientas numéricas adicionales como es el software sika@fiber SAVE para losas industriales reforzadas con macro fibras,

permite optimizar la cantidad de material prevista para la construcción de este tipo de estructuras logrando una reducción considerable de precios al momento de su ejecución.

Cabe destacar que en esta investigación el uso de las fibras sintéticas (Ver el numeral 3.2.3), como una alternativa innovadora se comparó con el refuerzo tradicional (mallas electrosoldadas) (Ver el numeral 3.2.1.), usando el software SIKAFIBER SAVE donde podemos decir que efectivamente conviene utilizar las fibras macro sintéticas SIKAFIBER FORCE 60 ya que presenta un alto porcentaje económico el cual es de 55.5%, además de tener ventajas positivas (Ver tabla N°01).

Finalmente, este software se rige en los códigos de diseño del ACI 360R y Tr-34, los cuales se basan en la metodología westergaard, optimizando el costo de una losa industrial. De tal manera que con el uso de las fibras macro sintéticas se tiene mejores resultados económicos frente a otras adiciones que se pudieron ver en otras investigaciones.

Seguido a ello, el análisis con el software SIKAFIBER SAVE para losas industriales de concreto, usando la fibra macro sintética SIKAFIBER FORCE 60, implica una mejor reducción económica considerable del presupuesto total en comparación a otras investigaciones que hacen refuerzos de losas industriales convencionales o habituales, como las que se describieron anteriormente (Ver numeral 1.2).

4.2. Conclusiones

Se puede inferir que la incorporación de macro fibras sintéticas en el sector de la construcción de losas industriales permite que estas estructuras con características especiales tengan un mejor desempeño y un equilibrio de costo

y durabilidad. Como se puede apreciar en los artículos científicos previos, existen resultados positivos respecto al desempeño de los concretos fibroreforzado como su alta planicidad, resistencia mecánica, resistencia química y resistencia al impacto.

Los datos de entrada para el software Sika®Fiber SAVE fueron obtenidos en las visitas realizadas a campo, accediendo a valores reales provenientes del EMS realizado por el propietario de obra. Cabe mencionar que la estructura estaba concebida para aplicar un refuerzo de acero tradicional y gracias a la modelación realizada en el software en mención, se pudo plantear una opción de similar desempeño empleando las macro fibras sintéticas SIKAFIBER FORCE 60.

Se logró determinar que el costo beneficio del proceso constructivo de losas industriales con alternativas de construcción tradicional y construcción con macro fibras sintéticas, está por el orden del 55.5% sólo la partida correspondiente a materiales.

Finalmente, se realizó el análisis de costos de la propuesta original del proyecto con refuerzo de acero tradicional, la cual genera un costo de S/. 32,760 y de la propuesta del uso de macro fibra sintética SikaFiber Force-60 (3 kg/m³) conllevando a un costo de S/. 14,586. Se concluye que con el empleo del software Sika®Fiber SAVE se logró una reducción de costos respecto a la propuesta original, la cual cumple con todos los parámetros de diseño contemplados en el ACI 360R y el Tr-34, basados en la metodología westergaard.

4.3. Alcance

En la presente investigación presenta los resultados obtenidos de la modelación sistemática del diseño estructural de pisos industriales de concreto que fueron arrojados por el software SIKAFIBER SAVE, clasificando el tipo de estructura más adecuado para ciertas magnitudes de cargas puntuales, empleadas habitualmente en el sector de la industria, haciendo énfasis de las mejores condiciones de una estructura de losa de concreto fibroreforzada que pueda ser competitiva y económica respecto a una losa tradicional.

4.4. Limitaciones

El Software SIKAFIBER SAVE para losas industriales de concreto, permite evaluar y comprobar el espesor de losa y la dosificación.

El análisis del alcance del software puede ser utilizado para la verificación de cálculos de piso y pavimento de concreto fibroreforzado. Este programa presenta diversos métodos de cálculo: Método elástico-plástico basados en la teoría de Weestergaard y Meyerhof (Yield Line Theory). Los tipos de cargas son: uniformes, lineales, concentradas. Este software ejecuta las verificaciones de los Estados límites de Servicio y Últimos. Sin embargo, SikaFiber SAVE se utiliza solo para pavimentos reforzados con fibras sintéticas.

La limitación teórica se presenta, debido que los resultados del análisis y métodos en la que se basa el software están en inglés.

4.5. Recomendaciones

Posicionar las macro fibras SIKAFIBER FORCE-60 sintéticas como una solución al complejo mercado de pisos industriales y reemplazo de las mallas electrosoldadas u otros sistemas tradicionales. Dependiendo mucho de las consideraciones que el proyecto requiera, por ejemplo, si las cargas son estáticas y se busca tener una mayor densificación de la mezcla, es recomendable utilizar SIKAFIBER FORCE-60, la cual se acomoda al comportamiento de losas industriales, ya que lo que se busca es optimizar los espesores, por consiguiente, se espera una mayor cantidad de fibras por m³. Es importante saber que las macro fibras controlan la fisuración dentro del concreto, permitiendo una mejora en su comportamiento mecánico y físico, pero no logran eliminar al 100% este fenómeno, debido a que el material es variable y muchas veces depende de factores de diseño y producción. Es difícil garantizar una perfecta homogeneidad de macro fibras dentro de la mezcla, sin embargo, se puede contar con consideraciones o recomendaciones obtenidas gracias a la experiencia de proyectos asociados de la empresa SIKA. Brindando una información general que nos dice que las fibras deben introducirse de manera gradual, ya que de manera abrupta estas pueden generar aglomeraciones en pequeñas zonas y no se genera la red tridimensional en todo el espesor y en toda el área requerida.

REFERENCIAS

- ACI. (1992). *Guide for Concrete Floor and Slab Construction ACI 202.1R-96*. Michigan-USA: American Concrete Institute.
- ACI 360. (2010). *Guide to desing of Slabs on Ground ACI 360R-10*. Farmington Hills-USA: American Concrete Institute.
- ACI 544. (2002). *State of the Art Repost on Fiber Reunforced Concrete ACI 544.1R*. Farmington Hills-USA: American Concrete Institute.
- Adicat, E. (2011). *Empresa Adicat*. Obtenido de Retrieved from: www.adicat.info/Fibra_vidrio.html
- Altamarina, M., Pombo, R., Giaccio, G., & Zerbino, R. (2017). *Hormigones reforzados con macrofibras sintéticas para la ejecución de pisos y pavimentos industriales*. doi:<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77066>
- Angel, L., & Prieto, M. (2014). *Modelación numérica de pisos industriales considerando la variabilidad en la solicitación de cargas*. Bogotá-Colombia: Tesis de grado. Universidad Católica de Colombia.
- Arboleda Botina, G. A. (2018). *Estudio de factibilidad técnica y económica para la elaboración de concreto, reemplazando la malla electrosoldada por fibras sintéticas*. Santiago de cali. Obtenido de https://repository.unicatolica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12237/1564/ESTUDIO_FACTIBILIDAD_T%C3%89CNICA_ECON%C3%93MICA_ELABORACI%C3%93N_CONCRETO_REEMPLAZANDO_MALLA_ELECTRO_SOLDADA_FIBRAS_SINT%C3%89TICAS.pdf?squence=1&isAllowed=y
- Argos. (2020). *¿Que es concreto reforzado con fibras?* Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/que-es-concreto-reforzado-con-fibras>
- Argos. (2020). *Las fibras en el concreto*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/categoria/aditivos-adiciones-y-fibras/las-fibras-en-el-concreto>
- Argos. (2020). *Lo que dees saber sobre microfibras y macrofibras para infraestructura*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/categoria/materiales/lo-que-debes-saber-sobre-microfibras-y-macrofibras-para-infraestructura>
- Argos. (2020). *Pisos industriales y pavimentos de concreto*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/categoria/usos-y-aplicaciones/pisos-industriales-y-pavimentos-de-pavimentos-de-concreto-diferencias>
- ASTM C1116. (2009). *Standard Specificaction for Fiber-Reinforced Concrete ASTM*. Pennsylvania-USA.
- Blanco, A. (2008). *Durabilidad del hormigón con fibras de acero*. España: Tesis doctoral - Universidad Politécnica de Cataluña.
- Cascamo, M. (2003). *Agrietamiento del concreto en estado plástico, extraído el 01 de diciembre del 2020*. Obtenido de <https://www.mop.gob.svindex.php/?option=com>
- Cemex. (2008). *Manual de diseño y construcción de pisos industriales*. Manual de Cemex para la construcción industrial.
- Chan, Y., Liu, C., & Lu, Y. (1998). *Effect of slag and fly ash on the autogenous shrinkage of high performance concrete*. Hiroshima-Japan: Proc. International Workshop on Autogenous Shrinkage of Concrete.
- Choque, C., & Paye, Y. (2019). *Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibra de vidrio a elevadas temperaturas*. Arequipa-Perú: Título para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Chumpitaz, F., & Narva, C. (2019). *Proceso constructivo de una losa industrial de concreto hidráulico con fibras de acero y sus beneficios obtenidos en su ejecución en un centro de distribución*. Lima-Perú.: Universidad Ricardo Palma. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2700>

- Chura, H. (2017). *Cambios de volumen del concreto*, extraído el 01 de diciembre del 2020. Obtenido de <https://www.udocz.com/read/22732/cambios-de-volumen-del-concreto-1>
- Concrete Society. (2014). *Concrete industrial floors: a guide to desing and construction*. Riverside, USA: 4ta edición.
- Córdova, C. (2015). *Análisis comparativo teórico y económico, entre fibras sintéticas y de acero, utilizadas como refuerzo en las losas de concreto apoyadas sobre suelos*. Costa Rica. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10669/78250>
- Eucomex. (2017). *Guía de ingeniería: concreto reforzado con fibras*. Tultitlán, México.
- Fajardo, C. (2018). *Determinación de capacidad de carga residual al agrietamiento con concreto reforzado con fibras macro sintéticas o fibras metálicas, para losas industriales*. Costa Rica: Tesis de licenciatura - Universidad de Costa Rica.
- Fernandez, M. (2003). *Hormigones con fibras: tecnología y propiedades generales* (Hormigon y Acero, N° 228-229. 2 y 3 trimestre ed.).
- Giménez, E. (2016). *Ética de ingeniería civil reflexiones sobre el estado actual*. Valencia, España.: Master en ética y democracia. Universidad de valencia facultad de filosofía y ciencias de educación.
- Gracia, O., & Quesada, G. (2012). *Evaluación de una alternativa para la construcción de pisos industriales de gran formato en Colombia (tesis de maestría)*. Bogotá, Colombia.: Ponteficia Universidad Javeriana.
- Guerini, V., Conforti, A., Plizzari, G., & Kawashima, S. (2018). *Influencia del acero y las fibras macrosintéticas en las propiedades del hormigón*. doi:<https://doi.org/10.3390/fib6030047>
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile , I. (2013). *Manual de diseño de pisos industriales*. Chile. Obtenido de <https://ich.cl/pavimentando/documentos-pavimentando/manual-de-diseño-de-pisos-industriales/>
- Maccaferri, B. (2005). *Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigón*.
- Mendoza, J., Vásquez, A., & Villa, M. (2014). *Análisis del esfuerzo residual en concreto para pavimentos rígido reforzado con fibras metálicas y sintéticas*. Bogotá, Colombia.
- Mesa, J. (2017). *Caracterización mecánica de la fibra polimérica para reforzar concreto*. Bogotá, Colombia.
- Meza, A. (2015). *Optimización del concreto reforzado con fibras de acero y polipropileno en pisos industriales, basado en análisis experimental y numérico*. Aguascalientes, México.
- Moliné, S. (2017). *Tecnologías de concreto y su uso en pavimentos. Construcción y Tecnología en Concreto*. Obtenido de <http://imcyc.com/revistacyt/febrero2017/febrero17.pdf>
- Montalvo, M. (2015). *Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales*. Lima-Perú. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6117>
- Narvas , A., & Rojas , J. (2010). *Comportamiento de losas apoyadas en suelo utilizando concreto reforzado con fibras metálicas*.
- O'reilly, V., Bancrofft, R., & Ruiz, L. (2010). *Las tecnologías del concreto en su ciclo de vida. Concreto y cemento*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112010000200004&lng=es&tlng=es.
- Orozco, M., Avila , Y., Restrepo, S., & Parody, A. (2018). Factores influyentes en la calidad del concreto: una encuesta a los actores relevantes de la industria del hormigón. 161-172. doi:<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000200161>
- PCA. (2011). *Design and control of concrete mixtures*. New Jersey, Washignton DC.
- Plaza, J. (2010). *Hormigón armado con macrofibras poliméricas STRUX 90/40*. Obtenido de <https://www.unifort.es/pavimentos-industriales/macrofibra-polimerica-estructural/>.
- Pujada, A. (2008). *Durabilidad del hormigón con fibras de polipropileno*. Barcelona, España.
- Rojas, J. (2009). *Guía metodológica para el diseño de una losa apoyada en suelo; para uso industrial, utilizando concreto reforzado con fibras metálicas*. San José, Costa Rica.

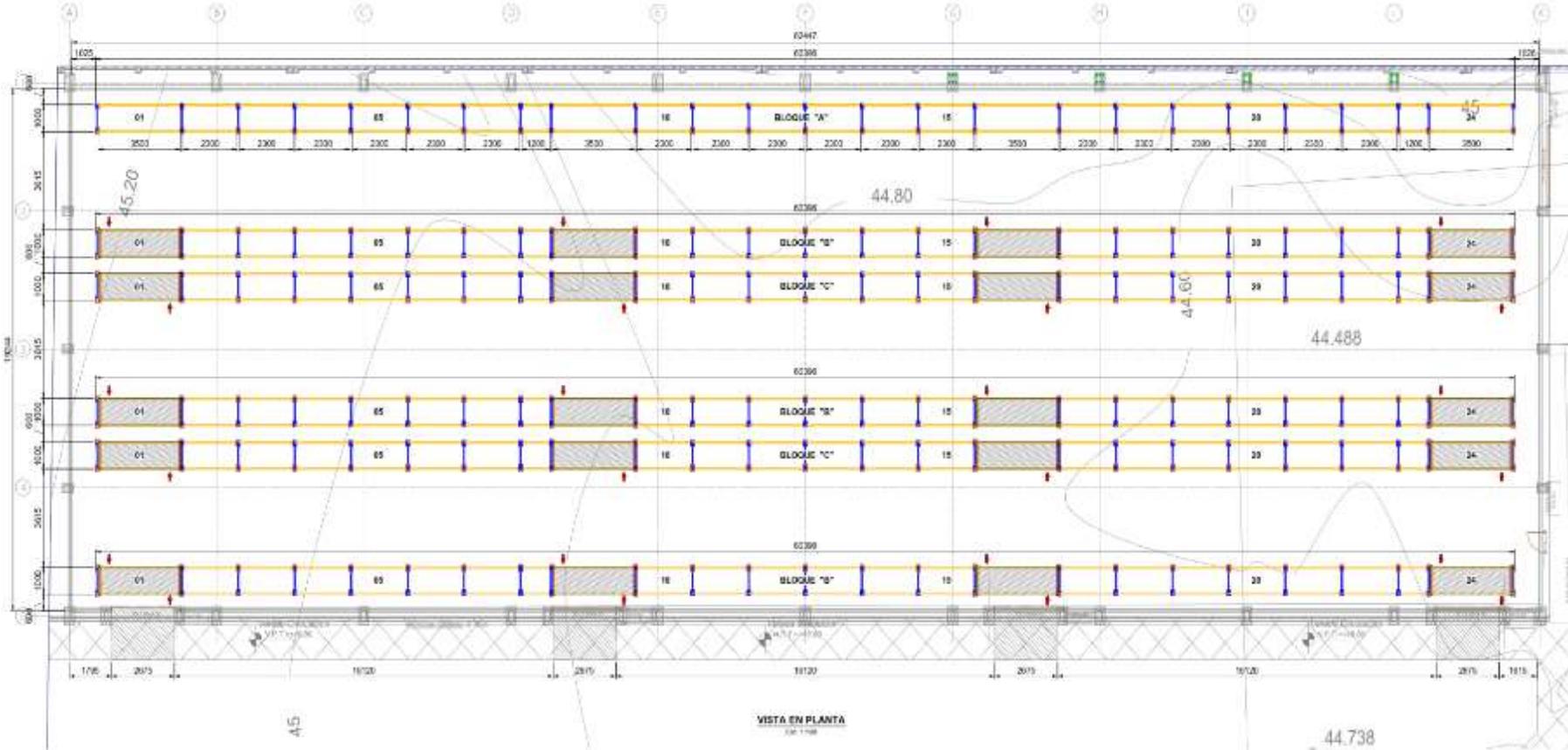
- Salvador, R., & Figueiredo, A. (2013). *Análise comparativa de comportamento mecánico de concreto reforzado con macrofibra polimérica e con fibra de acero en bruto*. Río de Janeiro, Brasil. Obtenido de <https://doi.org/10.1590/S1517-70762013000200003>
- Sika. (2014). *Sika informaciones técnicas: Concreto reforzado con fibras*. Lima, Perú.
- Sika. (2015). *Hoja técnica de producto SikaFiber Force 60*. Lima, Perú.
- Sika. (2018). *Sika información técnica: Hormigón tecnología SikaFiber*. Buenos Aires, Argentina.
- 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 losas industriales de pavimento rígido*. Lima, Perú.
- Souza, E. (2019). *Concreto reforzado con fibras para una arquitectura resistente y ligera*. Perú. Obtenido de <https://archdaily.pe/pe/919971/concreto-reforzado-con-fibras-resistencia-y-ligereza>
- Supulveda, R. (2006). *Construcción de pavimentos industriales superplanos para bodegas de almacenamiento con estanterías de gran altura*. Chile. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmficis4791c/doc/bmficis4791c.pdf>
- Trottier, J., Mahoney, M., & Forgeron, D. (2002). *Can synthetic fiber replace welded wire fabric in slabs on ground*. *Concrete international*.
- Van, N. (2005). *Steel fiber reinforced concrete*. In: *Proceedings of JSCE - VIFCEA Joint Seminar on concrete engineering in Vietnam and Workshop, Ho Chi Minh City University of Technology*. Tokyo, Japan.
- Waldman D., M., & Zurbes A., M. (2012). *Steel fibers as only reinforcement for flat slab construction - Experimental investigation and design*. *Construction and Building Materials*.
- Wolf de Goes, C., Pucharelli, P., Pimentel, L., & Paganelli, A. (2016). *Análise da aplicação de concreto com aplicação de macrofibras estruturais sintéticas e microfibras de vidro anti-crack em pisos*. doi:<https://doi.org/10.5216/reec.v12i1.37400>
- Zamorana, C. (2018). *Análisis técnico económico de la incorporación de macrofibras de polipropileno en reemplazo de malla electrosoldada en hormigones para pavimentos industriales*. Santiago de Chile, Chile.
- Zerbino, R., Giaccio, G., & Pombo, R. (2016). *Estudio experimental de la respuesta mecánica de hormigones reforzados con microfibras sintéticas para uso en pisos industriales*. Argentina. Obtenido de <http://digital.cic.gba.gov.ar/handle/11746/4872>

ANEXOS

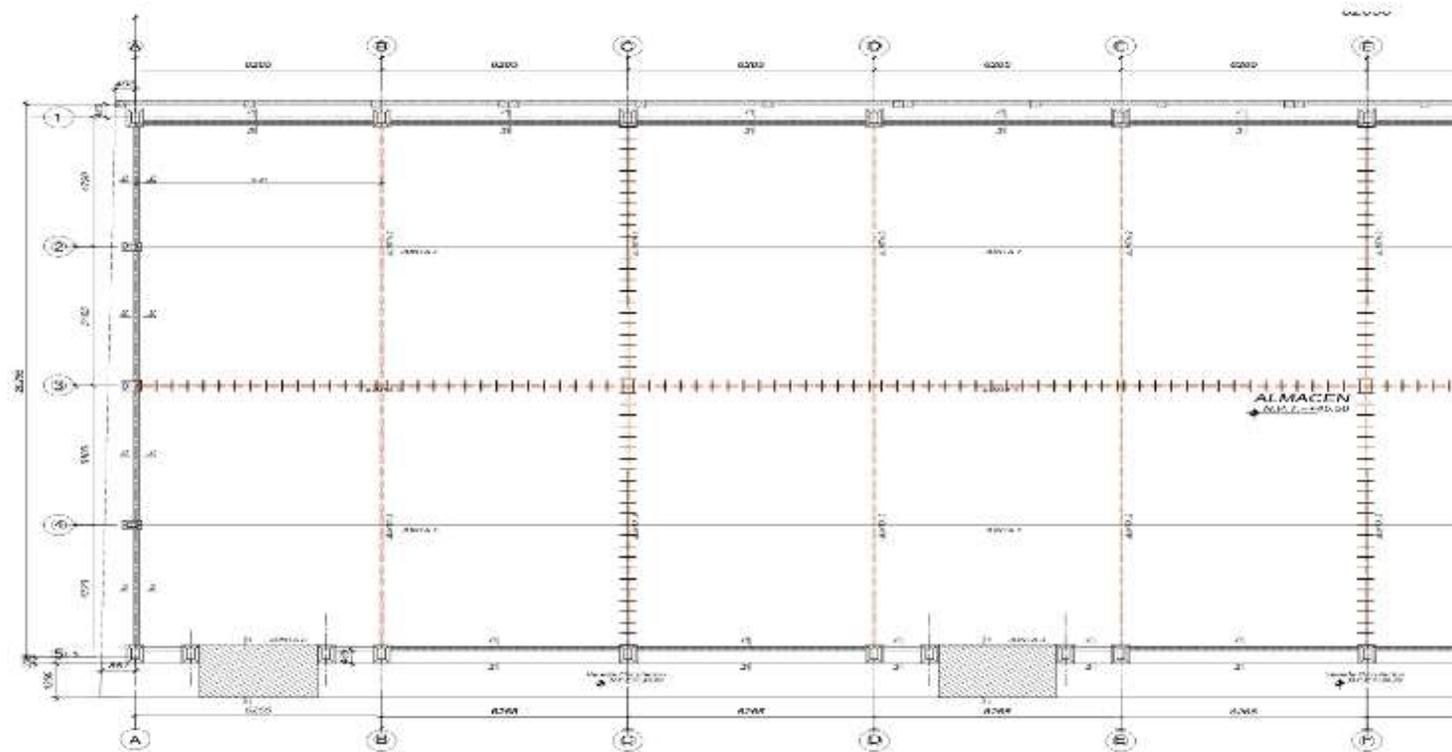
ANEXO 1. Tabla de Recolección de datos

HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS - LOSA INDUSTRIAL				
Lugar:				
Fecha:				
Realizado por:				
Tipo de losa:				
Fallas usuales:				
CBR:				
Perímetro:				
área:				
carga a soportar:				
Tipo de concreto f'c:				
Observaciones:	Excelente	Bueno	Regular	Malo

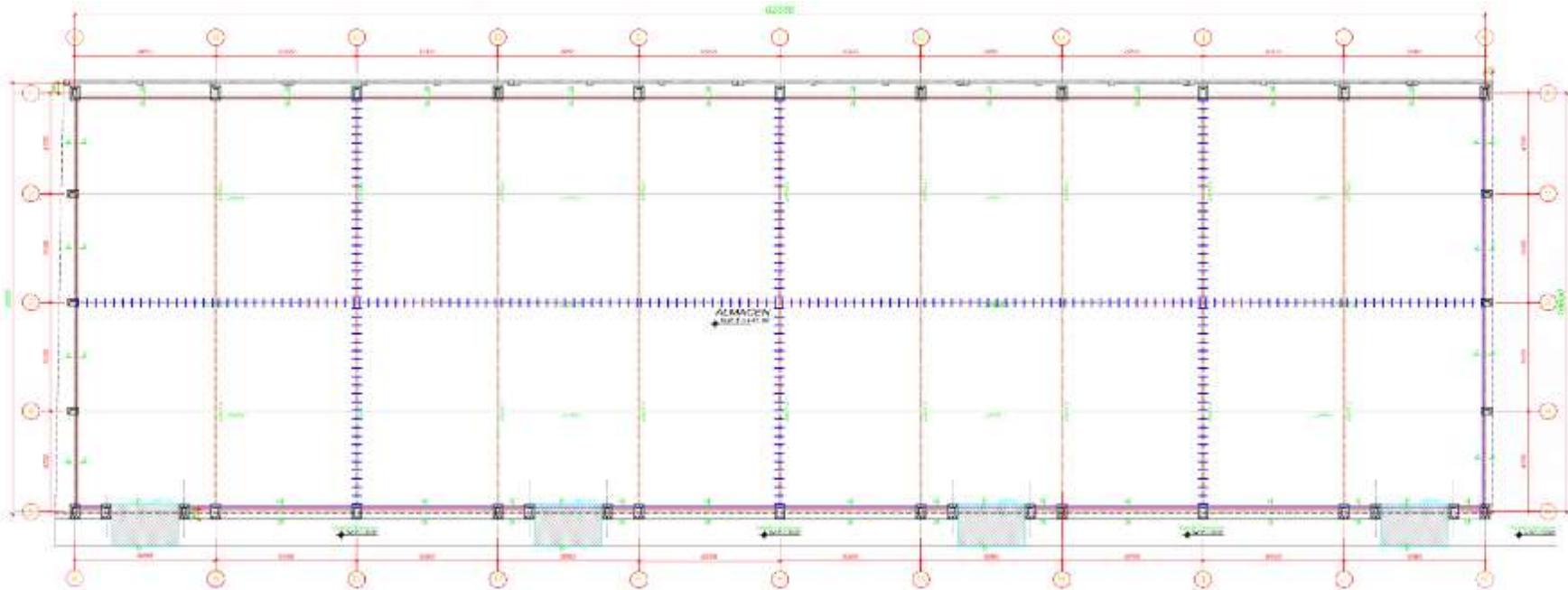
ANEXO 1: Plano Rack Selectivo.



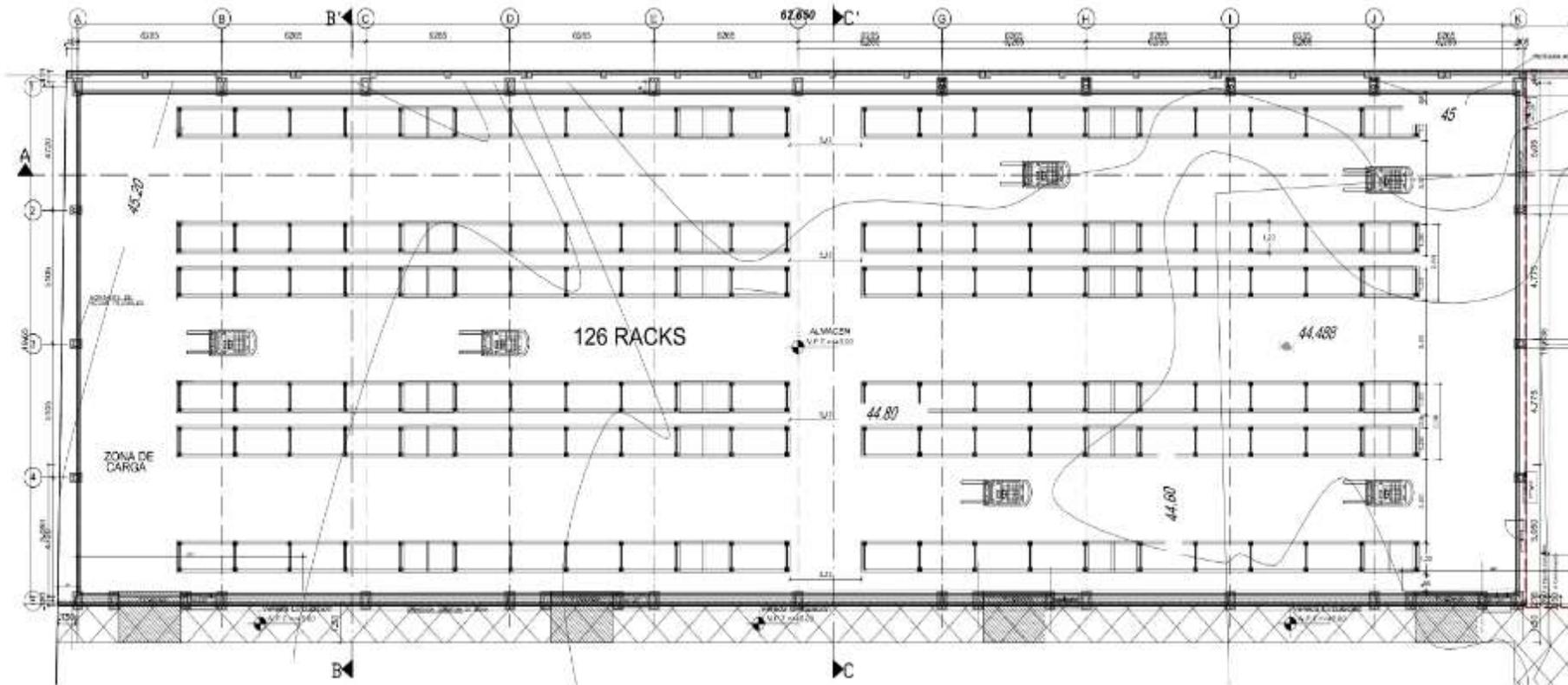
ANEXO 2: Plano de losa - almacén.



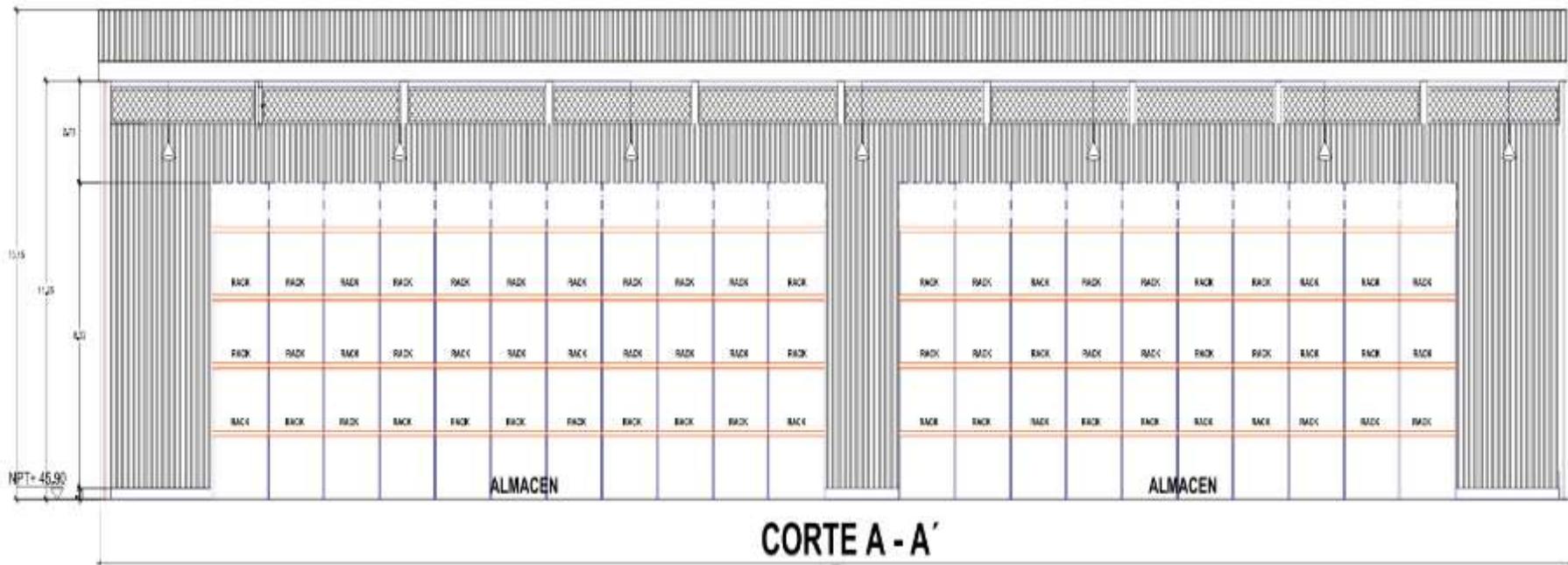
ANEXO 3: Plano de Piso de Concreto.



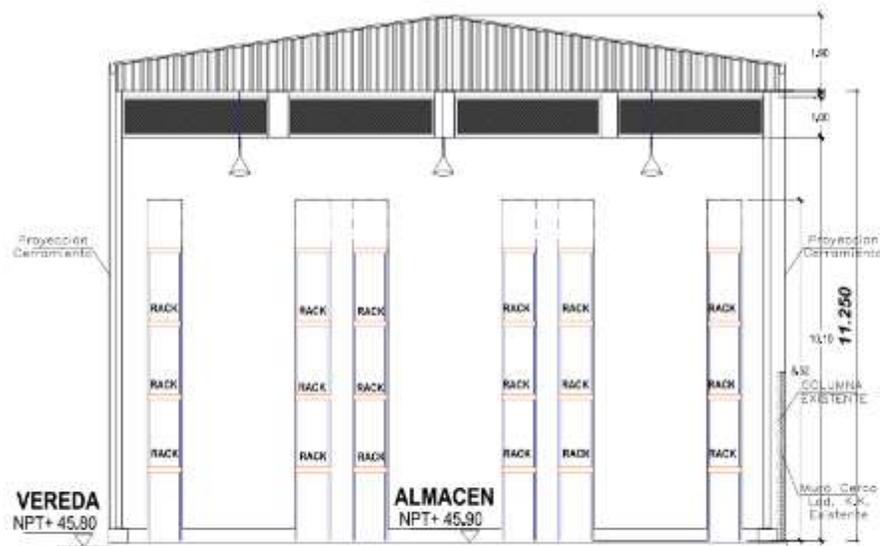
ANEXO 4: Distribución de Racks



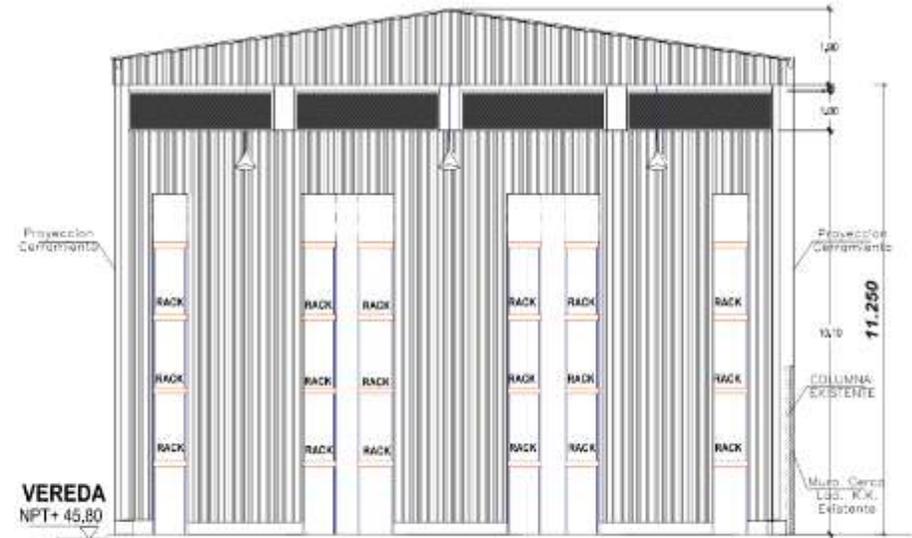
ANEXO 5: Corte A-A de la losa industrial.



ANEXO 6: Corte B-B y C-C de la losa industrial.



CORTE B -B'



CORTE C -C'

ANEXO 7: Resumen teórico y técnico.

RACK SELECTIVO

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		
VARIABLES A VERIFICAR		ACERORACK
ASPECTOS TECNICOS A CONSIDERAR	ESTRUCTURAS	
	PILAR	PP 100X100 X 2.0MM
	VIGAS TIPO	VT 100X50X2300 / 3500 / 1200
	RIOSTRAS	CANAL C 42X29X12 X 1.5MM
	PLACA BASE	PLACA BASE 166 X 200X10MM
ASPECTOS TECNICOS A CONSIDERAR	Tipo de Acero	ASTM A-570 GR50
	Tensión de Fluencia (min. certificada)	3100 KG/CM2
	Tipo de Pintura	Hibrida (mezcla poliéster y epoxica) en polvo
	Espesor Pintura	80 micras
	Conexión Viga-Pilar (pernos-ganchos)	Perno ASTM A325 de 1/2" de diámetro zincado.
	Proveedor Certificado ISO 9001-2000	SI
	Software Modelación	SAP2000 modelo 3D
ASPECTOS SISMICOS A CONSIDERAR	Zona Sísmica	4
	% de Ocupación por Sobrecarga	0.85
	Coefficiente de Importancia	1
	Factor de Modificación respuesta	4
	Razón de Amortiguamiento	0.03
	Normas utilizadas en el diseño	E30 – E20 – E90 – AISI2005 – ASD2005 – ASD2005
ENTREGABLE TECNICOS	Diseños As Built Planta y Elevacion	SI
	Ficha Técnica de Estructuras	SI
	Memoria de Cálculo	SI
	Procedimiento de Montaje	SI
	Manual de uso de Estructuras	SI

ANEXO 8: Costo Hora - Hombre.

COSTO HORA - HOMBRE EN EDIFICACION DEL 01.06.2020 AL 31.05.2021			
DESCRIPCION	CATEGORIAS		
	OPERARIO	OFICIAL	PEON
Remuneración Básica del 01.06.2020 al 31.05.2021	71.80	56.55	50.80
Total de Beneficios Leyes Sociales sobre la Remuneración Básica. Operario 117.23% Oficial 117.01% Peón 117.01%	84.17	66.17	59.44
Bonificación Unificada de Construcción (BUC)	22.98	16.97	15.24
Seguro de Vida ESSALUD - Vida (S/.5.00/mes)	0.17	0.17	0.17
Bonificación Movilidad Diaria (Piego Resuelto 2019 - 2020)	8.00	8.00	8.00
Overol (Res. Direc. Nº 777-87-DR- LIM de 08.07.87) (2 x S/.90,00)/302	0.60	0.60	0.60
Total por día de 8 horas	187.71	148.45	134.25
Costo de Hora Hombre (HH)	23.46	18.56	16.78

Fuente: Sistema nacional de pensiones (SNP), 2021.

ANEXO 9: Visualización de losa industrial.



ANEXO 10: Visualización del proceso constructivo.



ANEXO 11: Visualización de áreas a colocar la fibra sintética.



ANEXO 12: Imagen de los investigadores en obra.



ANEXO 13: Imagen de los investigadores en la recolección de datos para el software.



ANEXO 14: Imagen de los investigadores abriendo la fibra macro sintética



ANEXO 15: Diseño y forma de la fibra macro sintética.



ANEXO 16: Área donde irá el vaciado de concreto reforzado.

