



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS ESTÁTICO Y RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO  
POR RESISTENCIA SÍSMICA PARA EL MANEJO DE ESTANTERÍAS  
METÁLICAS INDUSTRIALES PARA GUATEMALA**

**María Guadalupe Vásquez Pérez**  
Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, octubre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS ESTÁTICO Y RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO  
POR RESISTENCIA SÍSMICA PARA EL MANEJO DE ESTANTERÍAS  
METÁLICAS INDUSTRIALES PARA GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MARÍA GUADALUPE VÁSQUEZ PÉREZ**

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. Wuilliam Ricardo Yon Chavarría
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **ANÁLISIS ESTÁTICO Y RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO POR RESISTENCIA SÍSMICA PARA EL MANEJO DE ESTANTERÍAS METÁLICAS INDUSTRIALES PARA GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,  
con fecha abril de 2012.



**María Guadalupe Vásquez Pérez**



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala 10 de septiembre de 2013

Ingeniero  
Ronald Estuardo Galindo Cabrera.  
Jefe del Departamento de Estructuras  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Estimado Ingeniero:

Cumpliendo con lo resuelto con la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación: **ANÁLISIS ESTÁTICO Y RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO POR RESISTENCIA SÍSMICA PARA EL MANEJO DE ESTANTERÍAS METÁLICAS INDUSTRIALES PARA GUATEMALA**, presentado por la estudiante: María Guadalupe Vásquez Pérez.

Considero que el trabajo de graduación se a desarrollado satisfactoriamente y cumple con los objetivos que motivaron la selección de dicho tema, por lo que hago de su conocimiento que apruebo el trabajo realizado.

Sin otro particular, atentamente:

  
Mario Rodolfo Cerzo Avila  
Ingeniero Civil Colegiado No. 2089

Mario Rodolfo Cerzo Avila  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado No. 2089



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
7 de octubre de 2013

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación ANÁLISIS ESTÁTICO Y RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO POR RESISTENCIA SÍSMICA PARA EL MANEJO DE ESTANTERÍAS METÁLICAS INDUSTRIALES PARA GUATEMALA, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil María Guadalupe Vásquez Pérez, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera  
Jefe del Departamento de Estructuras



FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO  
DE  
ESTRUCTURAS  
USAC

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua






**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Jefe del Departamento de Estructuras, Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera, al trabajo de graduación de la estudiante María Guadalupe Vásquez Pérez, titulado **ANÁLISIS ESTÁTICO Y RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO POR RESISTENCIA SÍSMICA PARA EL MANEJO DE ESTANTERÍAS METÁLICAS INDUSTRIALES PARA GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre de 2013.

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado **ANÁLISIS ESTÁTICO Y RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO POR RESISTENCIA SÍSMICA PARA EL MANEJO DE ESTANTERIAS METÁLICAS INDUSTRIALES PARA GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **María Guadalupe Vásquez Pérez**, autoriza la impresión del mismo

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, octubre de 2013





## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios y María**

Por cada amanecer, por la fe, el amor y la esperanza, por las bendiciones y oportunidades de cada día, por levantarme cada vez que tengo una caída y por celebrar conmigo en cada éxito.

### **Mi mamá**

Sra. Julia Vásquez, por ser mi inspiración de lucha en la vida, por el apoyo en los buenos y malos momentos. Por su amor hacia mí y por ser una persona maravillosa en mi vida.

### **Mi abuela**

Tomasa Aldana, por creer y confiar en mí, por su ayuda y apoyo incondicional. Por ser parte importante en mi vida.

### **Mis tíos y primos**

Por sus consejos y su apoyo hacia mí a lo largo de mi carrera profesional, en especial a Oscar Esquivel, que siempre estuvo en los malos y buenos momentos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios y María</b>	Por la oportunidad de estudiar y de estar presentes en mi vida.
<b>Mi mamá</b>	Por su ayuda incondicional y por darme la vida.
<b>Ing. Mario Corzo</b>	Por compartir sus conocimientos y amistad, por su tiempo y colaboración en este trabajo.
<b>Sección de Estructuras</b>	Sr. Fabio Sánchez, por sus consejos y ayuda. Michella Ciani, Ana Lili Vega, Randy Sujey, Miriam Calderón, Oscar Sinca, Airon García, Felipe Rodas, Elmer Galvez, Fernando Espinoza, Víctor Barrios, Pedro Canahuí, Bienvenido García. Por el apoyo y la amistad.
<b>Sección de Ecomateriales</b>	Ing. Quiñonez y sus colaboradores: Luis Ochoa y Víctor Rosales, por la ayuda en los ensayos del presente trabajo
<b>Ing. Omar Medrano</b>	Por la amistad y el apoyo que me ha brindado.
<b>Inga. Dilma Mejicanos</b>	Por sus consejos, el apoyo y la buena amistad.

**Mis amigos**

Oliverd Cifuentes, Luis Cordón, Lisbeth, Rocío Palacios, Sarita Rivera, Carola Flores, Claudia Garín, Liz Lainez, Débora Salazar, Pilar Ramírez, Gabriela López, Lucia Peralta, Leticia Álvarez, Crisanto Araiz, Manuel Cabrera, Ángel Chiroy, Héctor Soto, Antonio Gramajo, Álvaro González, Juan Carlos Coronado, Antonio David González, Leonel Moran, Henry Moran, Obed Contreras, Ricardo Contreras y demás amigos, por todos los buenos y malos momentos y por experiencias compartidas.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO .....	XVII
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. DEFINICIÓN, USO Y COMPONENTES DE UNA ESTANTERÍA METÁLICA INDUSTRIAL .....	1
1.1. Definición de una estantería metálica industrial .....	1
1.2. Uso de la estantería metálica industrial .....	1
1.3. Tipos de estanterías metálicas industriales.....	2
1.3.1. Estanterías paletizadas convencionales.....	2
1.3.1.1. Componentes de la estantería.....	4
1.3.1.1.1. Bastidor .....	4
1.3.1.1.2. Larguero .....	5
1.3.1.1.3. Distanciador de pared ....	6
1.3.1.1.4. Soporte de bidones .....	6
1.3.1.1.5. Soporte de paleta .....	6
1.3.1.1.6. Protector de puntal .....	6
1.3.1.1.7. Ensamblajes.....	7
1.3.2. Estanterías paletizadas compactas .....	8
1.3.3. Estanterías dinámicas por gravedad .....	8
1.3.4. Estanterías móviles .....	8

1.4.	Problemas que genera el mal uso y diseño de la estantería metálica industrial.....	9
1.5.	Descripción general de los daños que puede ocasionar el colapso de una estantería metálica industrial en la bodega o almacén.....	10
1.6.	Diferentes riesgos al que está expuesto el personal ante el colapso de las estanterías metálicas.....	11
2.	<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS DE LAS ESTANTERÍAS METÁLICAS INDUSTRIALES.....</b>	<b>13</b>
2.1.	Características físicas .....	13
2.1.1.	Altura.....	13
2.1.2.	Capacidad de carga de la estantería metálica .....	15
2.1.3.	Forma en larguero y puntales.....	15
2.2.	Características químicas .....	15
2.2.1.	El acero estructural como material principal.....	15
2.2.1.1.	Laminado en caliente .....	16
2.2.1.2.	Laminado en frío .....	16
2.2.2.	Características de la soldadura .....	16
2.2.2.1.	Soldadura en ángulo .....	17
2.2.2.2.	Soldadura a tope .....	17
2.2.3.	Características para la pintura de la estantería .....	17
2.3.	Características mecánicas .....	18
2.3.1.	Elasticidad.....	18
2.3.2.	Ductilidad.....	18
2.3.3.	Corte .....	19
2.3.4.	Flexión.....	19
2.3.5.	Rigidez .....	19
2.3.6.	Torsión .....	20

2.3.7.	Esbeltez.....	20
2.3.8.	Efecto P delta .....	21
2.3.9.	Centro de masa .....	21
2.3.10.	Centro de rigidez .....	21
2.3.11.	Excentricidad horizontal y vertical.....	22
3.	CONSIDERACIONES SÍSMICAS, DEL SUELO Y EL PISO INDUSTRIAL PARA LA ESTABILIDAD DE LA ESTANTERÍA METÁLICA .....	23
3.1.	Consideraciones sísmicas .....	23
3.1.1.	Riesgos tectónicos.....	23
3.1.2.	Amenaza sísmica .....	24
3.1.3.	Riesgos sísmicos .....	24
3.1.4.	Efecto de los sismos.....	24
3.1.5.	Movimiento de las estructuras .....	25
3.1.6.	Fallas en la superficie del suelo.....	25
3.2.	Consideraciones del suelo.....	25
3.2.1.	Estabilización de los suelo mediante métodos químicos .....	26
3.2.1.1.	Estabilización con cal .....	27
3.2.1.2.	Estabilización con cemento .....	28
3.2.2.	Estabilización de los suelos mediante métodos físicos .....	29
3.2.2.1.	Estabilización por compactación.....	29
3.3.	Consideraciones del piso industrial .....	29
3.3.1.	Subrasante .....	30
3.3.2.	Fibras.....	30
3.3.3.	Acero de refuerzo .....	31
3.3.4.	Juntas .....	31

3.3.5.	Propiedades del concreto para un piso industrial ....	32
3.4.	Diseño de la losa para un piso industrial.....	33
3.4.1.	Factores de seguridad para cargas en puntales .....	35
3.4.2.	Factores de junta para puntales .....	35
3.4.3.	Cálculo del espesor de la losa base .....	35
4.	ENSAYOS DE LA ESTANTERÍA METÁLICA INDUSTRIAL A FLEXO COMPRESIÓN, RESULTADO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	43
4.1.	Descripción del ensayo de la muestra 1.....	44
4.1.1.	Resultado y análisis de la estantería .....	48
4.1.1.1.	Flexión en el larguero .....	49
4.1.1.2.	Torsión en el larguero .....	50
4.1.1.3.	Comportamiento del bastidor .....	52
4.2.	Descripción del ensayo de la muestra 2.....	54
4.2.1.	Resultado y análisis de la estantería .....	57
4.2.1.1.	Flexión en el larguero .....	57
4.2.1.2.	Torsión en el larguero .....	59
4.2.1.3.	Comportamiento del bastidor .....	61
4.3.	Descripción del ensayo de la muestra 3.....	65
4.3.1.	Resultado y análisis vertical de la estantería.....	68
4.3.1.1.	Flexión en el larguero .....	69
4.3.1.2.	Torsión en el larguero .....	70
4.3.2.	Resultado y análisis horizontal de la estantería .....	71
4.3.2.1.	Comportamiento del bastidor .....	71
4.4.	Descripción del ensayo de la muestra 4.....	73
4.4.1.	Resultados, análisis vertical y horizontal de la estantería .....	75

4.5.	Análisis del sistema sismorresistente en estanterías paletizadas convencionales (marco rígido y marco arriostrado) .....	80
4.5.1.	Análisis en el marco arriostrado en el sentido transversal .....	80
4.5.1.1.	Esbeltez en los bastidores .....	81
4.5.1.2.	Rigidez en los bastidores.....	81
4.5.2.	Análisis en el marco no arriostrado en el sentido longitudinal.....	82
4.5.2.1.	Flexo torsión en los largueros.....	83
4.5.3.	Análisis en la conexión bastidor larguero .....	83
4.5.4.	Análisis al sistema como conjunto (marco rígido marco arriostrado) .....	84
5.	ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL Y CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA ESTANTERÍA METÁLICA INDUSTRIAL PALETIZADA CONVENCIONAL.....	87
5.1.	Comparación entre los enfoques de diseño .....	87
5.1.1.	Enfoque por resistencia .....	88
5.1.1.1.	Métodos de esfuerzos admisibles (ASD).....	89
5.1.1.2.	Método de diseño por factor de cargas y resistencia (LRFD) .....	90
5.1.2.	Enfoque por desempeño .....	91
5.1.2.1.	Método de fuerzas .....	92
5.1.2.2.	Método de desplazamiento directo .....	97
5.1.2.3.	Comparación entre el diseño de fuerza con el de desplazamiento .....	100



5.1.2.4.	Análisis estático no lineal .....	101
5.1.2.4.1.	Método de <i>Pushover</i> ...	102
6.	RECOMENDACIONES GENERALES PARA EL USO Y DISEÑO DE LAS ESTANTERÍAS METÁLICAS INDUSTRIALES .....	105
6.1.	Recomendaciones en el diseño, armado de la estantería metálica.....	105
6.1.1.	Cálculo y diseño de la estantería .....	105
6.1.1.1.	Estabilidad y capacidad de carga .....	106
6.1.1.2.	Considerar fuerzas horizontales .....	106
6.1.1.3.	Arriostramiento en el sentido largo .....	107
6.1.1.4.	Arriostramiento en el sentido corto .....	108
6.1.1.5.	Utilización del gatillo de seguridad .....	108
6.1.1.6.	Armado de la estantería .....	109
6.1.1.7.	Modificación del armado de la estantería .....	110
6.1.2.	Pasillo de circulación y de servicio .....	110
6.1.2.1.	Señalización de pasillos .....	111
6.2.	Medida de prevención para el uso de la estantería metálica industrial.....	111
6.2.1.	Control de colocación de la carga en las estanterías.....	112
6.2.2.	Indicadores de carga máxima admisible .....	112
6.2.3.	Distribución de cargas en alturas .....	113
6.2.4.	Restricciones e iluminación del almacén.....	113
6.2.4.1.	Iluminación del almacén .....	114
6.3.	Mantenimiento.....	114
6.3.1.	Limpieza .....	115

CONCLUSIONES .....	117
RECOMENDACIONES .....	121
BIBLIOGRAFÍA.....	123
APÉNDICES .....	125
ANEXOS .....	135



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Componentes de una estantería convencional .....	3
2.	Colapso de la estantería metálica .....	11
3.	Alturas entre niveles de la estantería metálica .....	14
4.	Ensayo del concreto a flexión .....	33
5.	Sentido transversal y longitudinal de la estantería .....	44
6.	Ubicación de los deformómetros e identificación de los largueros y puntales.....	46
7.	Armado de la estantería metálica y colocación de los deformómetros .....	47
8.	Larguero con carga aplicada.....	47
9.	Flexión en los largueros A y B.....	49
10.	Torsión en los largueros A y B .....	51
11.	Se muestra el efecto flexo torsión .....	52
12.	Deformación en los bastidores (puntal A y B) .....	53
13.	Ubicación de los deformómetros e identificación de los largueros y puntales.....	56
14.	Aplicación de carga en los largueros.....	56
15.	Flexión en los largueros A y B.....	58
16.	Torsión en los largueros A y B .....	60
17.	Aplicación de carga muestra 2 .....	61
18.	Deformación en milímetros en los bastidores (puntal B).....	62
19.	Deformación en milímetros en los bastidores (puntal A).....	64
20.	Torsión en el puntal A .....	65

21.	Ubicación de los deformómetros e identificación de los largueros y puntales .....	67
22.	Flexión en los largueros A y B .....	69
23.	Torsión en los largueros A y B .....	70
24.	Deformación del puntal A y B .....	72
25.	Deformación del puntal A y B .....	73
26.	Ubicación de cargas y medidas de deformación .....	75
27.	Deformación del sistema con carga vertical aplicada .....	77
28.	Deformación del sistema con carga horizontal aplicada .....	79
29.	Sentido longitudinal y transversal de la estantería metálica .....	80
30.	Configuración de riostras en K.....	82
31.	Deformación en el larguero.....	83
32.	Sistema de unión larguero bastidor .....	84
33.	Fuerzas horizontales en el sistema.....	85
34.	Torsión en el sistema.....	85
35.	Secuencia del proceso de análisis <i>pushover</i> .....	102
36.	Curva <i>pushover</i> .....	103
37.	Curva de demanda .....	104
38.	Estabilidad del larguero .....	106
39.	Considerar fuerzas horizontales .....	107
40.	Arriostro en el sentido largo .....	107
41.	Arriostro en el sentido corto .....	108
42.	Gatillo de seguridad.....	109
43.	Armado de la estantería.....	109
44.	Anchos de pasillos de circulación y de servicio .....	111
45.	Indicadores de carga máxima admisible.....	112
46.	Indicadores de carga máxima admisible.....	113
47.	Deformaciones en los bastidores.....	115

## TABLAS

I.	Altura entre niveles de la estantería metálica .....	14
II.	Efectividad de los agentes estabilizadores .....	27
III.	Resultados generales de la muestra 1, carga en kilogramos y deformaciones en milímetros .....	48
IV.	Resultados generales de la muestra 2, carga en kilogramos y deformaciones en milímetros .....	57
V.	Resultados generales de la muestra 2, carga en kilogramos y deformaciones en milímetros en el puntal A .....	63
VI.	Resultados generales de la muestra 3, carga en kilogramos y deformaciones en milímetros .....	68
VII.	Resultados generales de la muestra 4, carga en kilogramos y deformaciones en milímetros .....	76
VIII.	Resultados generales de la muestra 3, carga en kilogramos y deformaciones en milímetros .....	78



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>hi</b>	Altura de la base a cada nivel
<b>hx</b>	Altura de la base a cada nivel
<b>Y</b>	Altura entre la carga y el larguero
<b>X</b>	Ancho entre carga
<b>A</b>	Área
<b>P</b>	Carga
<b>P<sub>lapp</sub></b>	Carga de estibas o de producto almacenado
<b>SL</b>	Carga de granizo
<b>I<sub>mp</sub></b>	Carga de impacto entre un entrepaño
<b>RL</b>	Carga de lluvia
<b>WL</b>	Carga de viento
<b>V</b>	Carga horizontal total
<b>PL</b>	Carga máxima de estibas o producto almacenado en la estantería
<b>DL</b>	Carga muerta
<b>EL</b>	Carga sísmica
<b>LL</b>	Carga viva
<b>A<sub>a</sub></b>	Coefficiente de aceleración horizontal pico efectiva
<b>C<sub>s</sub></b>	Coefficiente de respuesta sísmica
<b>A<sub>v</sub></b>	Coefficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva



<b><math>C_a</math></b>	Coeficiente sísmico basado en el tipo de perfil de suelo y en el valor del $A_a$
<b><math>C_v</math></b>	Coeficiente sísmico basado en el tipo de perfil de suelo y en el valor de $A_v$
<b><math>\Pi</math></b>	Constante Pi (3,1416)
<b><math>V_b</math></b>	Corte basal
<b><math>\delta_i</math></b>	Desplazamiento
<b><math>\Delta d</math></b>	Desplazamiento máximo
<b><math>\tau</math></b>	Esfuerzo de corte
<b><math>WS</math></b>	Esfuerzo de trabajo en el concreto
<b><math>K</math></b>	Exponente que depende del periodo fundamental $T$ de la estructura
<b><math>FJ</math></b>	Factor de Junta
<b><math>FS</math></b>	Factor de Seguridad
<b><math>\Phi</math></b>	Factor de reducción de resistencia
<b><math>F_i</math></b>	Fuerza
<b><math>g</math></b>	Gravedad de la tierra
<b><math>I</math></b>	Inercia
<b><math>L</math></b>	Longitud
<b><math>m_e</math></b>	Masa equivalente de la estructura
<b><math>E</math></b>	Módulo de elasticidad
<b><math>I_p</math></b>	Nivel de importancia de la estructura
<b><math>T_e</math></b>	Período equivalente
<b><math>T</math></b>	Período fundamental de la estructura
<b><math>W_s</math></b>	Peso sísmico efectivo
<b><math>W_i</math></b>	Porción de la carga total de gravedad
<b><math>W_x</math></b>	Porción de la carga total de gravedad
<b><math>U</math></b>	Resistencia requerida

$K_i$	Rigidez
$K_e$	Rigidez secante
R	Valor de seguridad



## GLOSARIO

<b>ASD</b>	Método de diseño por esfuerzos admisibles.
<b>AISC</b>	American Institute of Steel Construction (Instituto Americano de Construcción de Aceros).
<b>Amenaza sísmica</b>	Es la posible ocurrencia de un sismo de cierta magnitud, en un determinado sitio.
<b>Amortiguamiento</b>	Es la capacidad de un sistema o elemento de disipar energía.
<b>Arcilla</b>	Suelo que procede de la descomposición de rocas que contienen feldespato, es muy plástico y presenta diversas coloraciones, dependiendo el nivel de impureza que contenga.
<b>Colapso</b>	Es la caída o destrucción de una estructura.
<b>Coefficiente sísmico</b>	Factor que permite ajustar la sobrecarga sísmica horizontal.
<b>Compresibilidad</b>	Se da cuando los cuerpos disminuyen de volumen.
<b>Corte basal</b>	Es una fuerza de reacción que se presenta en la estructura.

<b>Espectro de respuesta</b>	Es la respuesta máxima absoluta de osciladores de un grado de libertad ante un sismo y puede expresarse en términos de aceleración, velocidad o desplazamiento para los distintos períodos del movimiento.
<b>Estabilización</b>	Proceso mediante el cual se mejora las condiciones mecánicas del suelo, pueden ser procesos químicos o físicos.
<b>Falla geológicas</b>	Ruptura en la roca de la corteza terrestre, cuyos lados han tenido movimientos paralelos al plano de ruptura.
<b>IBC</b>	International Building Code (Código Internacional de la Edificación).
<b>LFRD</b>	Método de diseño por factores de carga y resistencia.
<b>Limos</b>	Material suelo con granulometría comprendida entre arenas y arcillas.
<b>Permeabilidad</b>	Facilidad con la que el agua puede fluir a través de los poros del suelo.
<b>Punzonamiento</b>	Es un esfuerzo producido por tracciones en una pieza, debidas a los esfuerzos tangenciales originados por una carga localizada en una superficie pequeña.

<b>Rack</b>	Soporte metálico para alojar productos pesados.
<b>RMI</b>	Rack Manufactures Institute (Instituto de Fabricantes Rack).
<b>Sismo</b>	Vibraciones de la corteza terrestre inducidas por el paso de las ondas sísmicas provenientes de un lugar o zona donde han ocurrido movimientos.
<b>Suelo</b>	Agregados naturales de partículas minerales granulares y cohesivos separables por medios mecánicos.
<b>UBC</b>	Uniform Building Code (Código Uniforme de la Edificación).
<b>Volcamiento</b>	Colapso, caída o destrucción de una estructura.



## RESUMEN

En el almacenamiento para la industria pesada (repuestos de motores, accesorios de motores, maquinaria de construcción, repuestos y suministros de fábricas); la industria química (contenedores de productos tóxicos, productos hospitalarios y farmacéutico) y el almacenaje de distribuidores de abarrotes de mayoreo, se utilizan en gran medida las estanterías metálicas industriales, ya que permiten almacenar los productos en forma de paletizados en altura, que pueden soportar cargas, son efectivas para la reducción de espacios y permiten (con buen criterio y diseño) ser seguras ante acciones dinámicas.

Las estanterías metálicas paletizada convencional, comúnmente llamada *rack*, es un sistema de almacenamiento que consiste en situar las cargas en los diferentes niveles de largueros para su resguardo y orden dentro del almacén o bodega.

Para el presente estudio de este tipo de estantería, se propone una serie de recomendaciones y análisis para el diseño sísmico de estanterías metálicas de almacenamiento, basadas en ensayos de laboratorio enfocados en el diseño por resistencia, considerado para países con alto riesgo sísmico.

Con estas recomendaciones, se presenta la posibilidad de realizar diseños que incluya la disminución de riesgos de colapso, pudiendo generar pérdidas humanas, daños por contaminación de productos líquidos, gaseosos y vapores tóxicos, así como las pérdidas en la mercadería a la hora de un movimiento telúrico.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Analizar y recomendar para mejorar diseños existentes de estanterías metálicas industriales, considerando; comportamiento y características geotécnicas y telúricas de Guatemala.

### **Específicos**

1. Hacer énfasis en el comportamiento de torsión en los largueros, ya que la torsión aumenta el corte y disminuye la capacidad de carga.
2. Hacer énfasis en la deformación que sufre la estantería metálica estática a causa de sismos.
3. Mejorar los diseños ya existentes.
4. Recomendaciones de normas del comportamiento del sistema como una estructura.
5. La calidad que debe tener la losa o piso industrial.
6. Riesgo de peligrosidad en niveles superiores a la acción del sismo.



## INTRODUCCIÓN

Un componente principal del buen manejo y control de los productos almacenados, es el tipo de estructura a utilizar en el sistema de operación dentro del almacén o bodega. Es por ello que en el presente trabajo se realiza un estudio del comportamiento de las estanterías metálicas industriales para diferentes niveles de carga, dividiendo el estudio en 6 capítulos. En el capítulo 1; se describen los elementos que componen una estantería metálica industrial paletizada convencional, así como el uso y los diferentes sistemas de estanterías

En el capítulo 2; se describen las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las estanterías metálicas, en el capítulo 3 se hace una serie de consideraciones sísmicas y de los tratamientos que se le deben realizar a los suelos para la colocación del piso industrial.

En el capítulo 4; se realiza la descripción de los ensayos, así como los resultados y análisis de los mismos, presentado gráficas y tablas de resultados para una mejor comprensión del comportamiento de las estanterías ante los diferentes niveles de carga, tanto horizontal como vertical. En el capítulo 5; se presenta una comparación entre los enfoques de diseño de resistencia y de desempeño para mejorar los diseños de estanterías ya existentes.

En el capítulo 6; se hace una serie de recomendaciones para el diseño, construcción, armado y uso de las estanterías metálicas dentro del almacén.



# **1. DEFINICIÓN, USO Y COMPONENTES DE UNA ESTANTERÍA METÁLICA INDUSTRIAL**

A continuación se presenta la definición, el uso y los componentes que forma una estantería metálica industrial.

## **1.1. Definición de una estantería metálica industrial**

Una estantería metálica industrial, es una estructura de acero que consiste en marcos verticales, compuesta por vigas que distribuyen las cargas hacia los bastidores, existen 2 tipos de estanterías metálicas; el de almacenamiento móvil, en el cual las cargas permanecen inmóviles en el sistema y el de almacenamiento estático, en el que tanto la carga como el sistema permanecen inmóviles.

## **1.2. Uso de la estantería metálica industrial**

Son utilizadas para el almacenamiento de industria pesada (repuestos de motores, accesorios de motores, maquinaria de construcción, repuestos y suministros de fábricas), industria química (contenedores de productos tóxicos, productos hospitalarios y farmacéutico), almacenaje de distribuidores de abarrotos de mayoreo, las estanterías son capaces de soportar cargas pesadas y son efectivas para la reducción de espacios y permiten (con buen criterio y diseño) ser seguras ante acciones dinámicas.

Se recomienda usar la tabla 1 604,5 del código IBC; clasificación de edificaciones y otras estructuras por factor de importancia, del Código

Internacional de la Edificación 97, para la realización del diseño de la estantería metálica.

### **1.3. Tipos de estanterías metálicas industriales**

En el mercado de las estanterías metálicas, existen diversos tipos para cargas, uso y espacio del almacén o bodega, se menciona los más comúnmente utilizado en bodegas y comercios de Guatemala. Además el presente estudio se enfocará en las estanterías metálicas de tipo convencional.

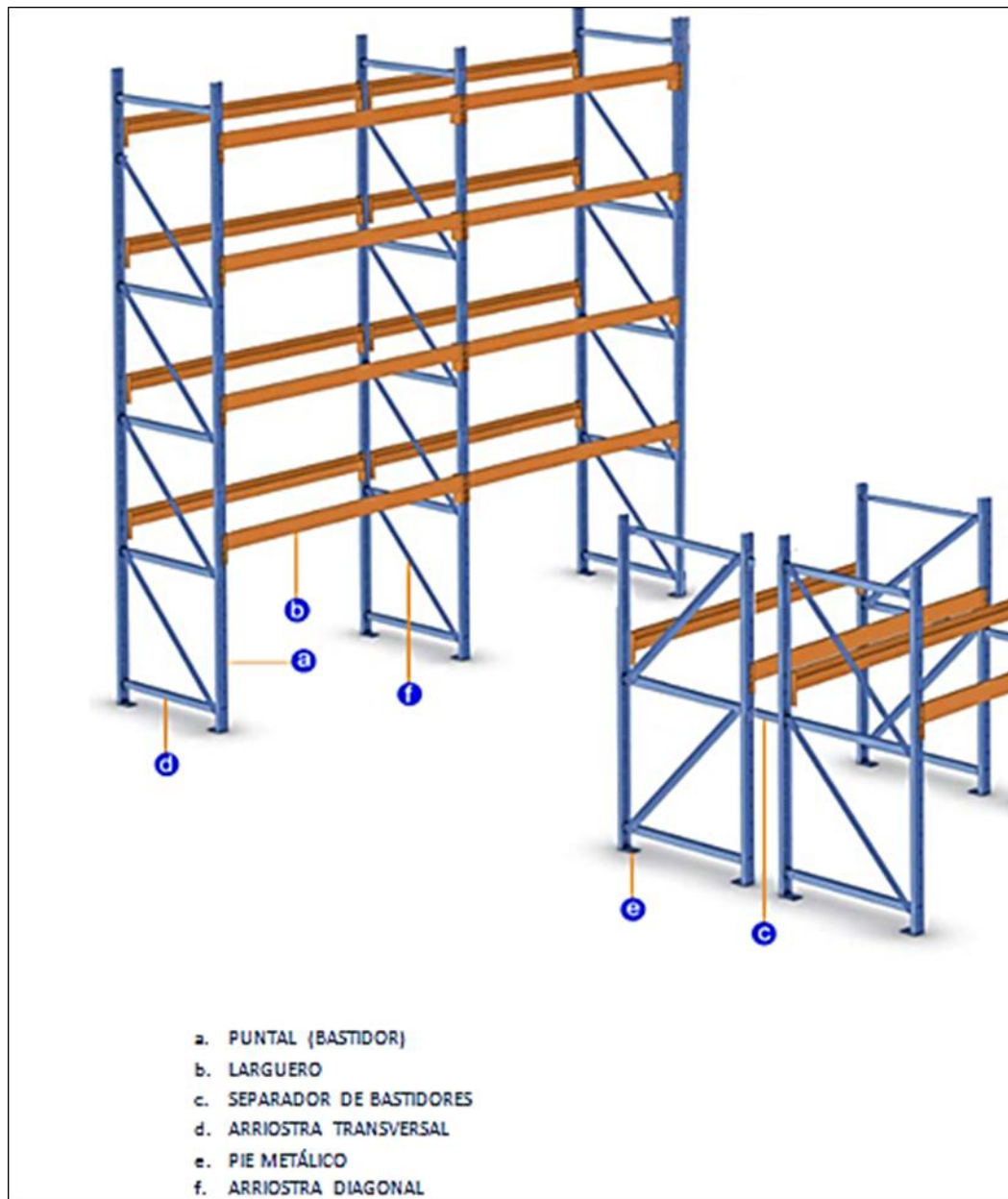
#### **1.3.1. Estanterías paletizadas convencionales**

Una estantería metálica industrial, paletizada convencional, es un sistema de almacenaje de productos pesados, para bodegas y comercios abiertos al público, está formada por una alineación de bastidores en sentido vertical, los cuales se encuentran conectados por largueros a cada lado, dichos largueros son los elementos del sistema que se encuentran en sentido horizontal, estos elementos son los encargados de recibir en forma directa el peso de la carga y trasladar el peso hacia los bastidores.

La unión de larguero bastidor puede ser por medio de un sistema de grapas, o pueden estar unidos por pernos, luego el peso de la carga es transmitida hacia los pies metálicos que son los que se encargan de llevar las cargas hacia el piso.

- Bosquejo de la estantería convencional

Figura 1. Componentes de una estantería convencional



Fuente: Catálogo Rack Estructural. Mecalux, México. p. 4.



### **1.3.1.1. Componentes de la estantería**

Se menciona cada uno de los elementos que forma la estantería metálica, tanto su funcionalidad como su importancia en el comportamiento en dicha estantería.

#### **1.3.1.1.1. Bastidor**

Los bastidores son los elementos verticales de la estructura, están formados por 2 puntales, 2 pies metálicos y los accesorios que complementan la unión de los elementos; dichos puntales están unidos por un sistema de arriostamiento. La función principal de los bastidores, es soportar las cargas que recibe de los largueros y luego trasmitirla al suelo, además de soportar el empuje transversal, provocado por las fuerzas mecánicas del sistema.

La capacidad de carga y rigidez del bastidor, dependen de las dimensiones de los puntales, de su anclaje al suelo, de los distanciadores entre bastidores, de la características del material utilizado para su fabricación y de la separación entre los largueros.

- Puntales: se encuentran unidos por los arriostamientos transversales y diagonales, son laminados en caliente y perfilados en frío, hay varios espesores dependiendo la carga que vaya a soportar. Algunos puntales de sección transversal en forma de omega, están ranurados cada 50 milímetros, en la parte frontal, para poder alinear los largueros, dependiendo del producto a almacenar, en la parte lateral poseen 2 filas de taladros de 10,5 milímetros de diámetro, a una distancia de 50 milímetros, esto sirven para atornillar los arriostamientos.

- Arriostramiento: transversal y diagonal, se utilizan para rigidizar el bastidor, dichos arriostramientos están colocados en forma triangulada y la longitud depende del fondo del bastidor.
- Pie metálico: son utilizados para anclar al piso los bastidores, estos pueden ser simples o reforzados, se colocan en el extremo inferior de los puntales. Por lo tanto, es importante tomar en cuenta dichos pies metálicos, ya que su función es la de transmitir la carga que recibe al piso, al mismo tiempo que controla los fenómenos de punzonamiento, dichos fenómenos dependerán de las características físicas del suelo donde se encuentra asentada la estructura.
- Placa de nivelación: se utilizan para la nivelación de los bastidores en pisos irregulares, se colocan entre el piso y el pie metálico, disponen de hendiduras que permite la colocación de tornillo para la fijación al piso, se utilizan tanto para pie metálico simple como reforzado.

#### **1.3.1.1.2. Larguero**

Son los elementos horizontales de las estanterías metálicas, que junto con los bastidores, son los elementos básicos de la estructura; se unen a los bastidores, por medio de 2 formas: con pernos o con grapas, de este modo se evita el riesgo de caída del sistema. Las cargas a almacenar se colocan directamente sobre los largueros, por lo tanto deben tener buena capacidad de carga y resistencia.

#### **1.3.1.1.3. Distanciator de pared**

Son utilizados para mantener la alineación de la estantería con la pared, tienen forma de L, se sujetan al bastidor en la parte del ala mayor por medio de 2 tornillos, de igual forma para el lado que se coloca en la pared, con la diferencia que de dicho lado solo se coloca un tornillo.

#### **1.3.1.1.4. Soporte de bidones**

El soporte bidón se utiliza para evitar el desplazamiento lateral en las cargas cilíndricas, se coloca en forma horizontal sobre cada larguero y se adapta en forma de V para que los bidones se sostengan.

#### **1.3.1.1.5. Soporte de paleta**

Son utilizadas para soportar paletas con carga muy elevada y evitar así, la deformación de las mismas y prevenir su rotura, además los tamaños son iguales o inferiores al fondo del bastidor.

#### **1.3.1.1.6. Protector de puntal**

Está diseñado en función de las dimensiones de los puntales, protegiéndolos de posibles golpes accidentales con la carretilla elevadora. Se colocan en la base del puntal, alojándolo en su interior, se ancla al suelo mediante 4 tacos de expansión.

### **1.3.1.1.7. Ensamblés**

Los ensamblés son los diferentes tipos de unión que se utilizan en el sistema de estanterías metálicas industriales, para la unión de larguero-bastidor se utilizan 2 formas, uniones con pernos o las uniones con grapas.

- **Pernos:** la función principal de los pernos de seguridad, es la fijación de los largueros con los puntales del bastidor, evitando así los movimientos provocados por golpes y empujes, además de evitar los desplazamientos verticales. Para cada larguero, son precisos 2 pernos de seguridad, introduciéndose en el orificio inferior de cada conector.
- **Grapas:** el sistema de anclaje de grapas, son las uñas de los conectores colocadas en los largueros, para poder unir los largueros con los bastidores. Los conectores, son soldados en cada uno de los extremos de los largueros, la soldadura utilizada, es de alta resistencia, cada conector dispone de 4 salientes que se encastran en los huecos correspondientes del bastidor.

La distancia entre uñas, es de 50 milímetros, coincidiendo con el paso del punzonado del puntal. Este tipo de unión se diseña para transmitir correctamente los empujes de la carga, minimizando los esfuerzos del sistema a las compresiones para evitar las tensiones de cortadura.

- **Anclajes:** se utilizan para fijar la estructura al piso, se utilizan anclajes en función de los esfuerzos que tengan que soportar las estanterías.

### **1.3.2. Estanterías paletizadas compactas**

Este sistema de paletización compacta, está compuesto por un conjunto de estanterías de grandes dimensiones, en este sistema las cargas son apoyadas sobre los largueros, dichas cargas tienen que ser homogéneas ya que la cantidad de paletas dependerá de la profundidad, de la altura de las calles de carga y del tiempo que estén almacenadas.

### **1.3.3. Estanterías dinámicas por gravedad**

Las estanterías para paletización dinámica por gravedad, son estructuras compactas, en las cuales se introduce la carga por la parte más elevada de los caminos de rodillos y es desplazada, por gravedad y velocidad controlada, dichos rodillos se encuentran colocados en una estructura metálica de gran densidad, los caminos de los rodillos que transportan la carga, se colocan con una ligera pendiente que permite el deslizamiento de la carga, desde el punto de entrada al punto de salida.

La pendiente de los rodillos en el caso de cargas pesadas, debe estar entre el 4 y el 6 por ciento, los productos cilíndricos no requieren de rodillos, para un funcionamiento correcto de la instalación, es necesario distribuir adecuadamente los carriles, los rodillos o roldanas y los márgenes necesarios.

### **1.3.4. Estanterías móviles**

Este tipo de estantería son parecidas a las estanterías convencionales, con la diferencia que no están ancladas al piso, dichas estanterías se encuentran sobre bases móviles, de modo que se pueden desplazar, para

unirlas o separarlas y así reducir al mínimo la necesidad de pasillos, por tanto el espacio es aprovechado.

#### **1.4. Problemas que genera el mal uso y diseño de la estantería metálica industrial**

Generalmente los propietarios de los almacenes que están abiertos al público, así como los propietarios de bodegas, colocan cargas de mayor peso que el peso propio de la estructura, por ello la caída de estos bienes durante un terremoto, pueden representar para el propietario una pérdida económica, además de pérdidas humanas, ya que pone en riesgo la vida de clientes y empleados del almacén, por estas razones, la estructura se debe diseñar adecuadamente.

En países como Guatemala que tiene alto grado sísmico, el problema se hace aún más grande, ya que un sismo podrá causar colapso o volcamiento de las estanterías, si no se encuentran adecuadamente diseñadas, mantenidas y cargadas a un determinado límite. Dichas estanterías deben ser capaces de soportar las fuerzas dinámicas, el comportamiento no lineal de la viga a columna, además de los mecanismos habituales de colapso global y local.

En Guatemala no existe ningún documento oficial para el diseño sísmico de estanterías metálicas, por ello los diseñadores hacen referencia al Instituto de Fabricantes Rack, mientras que la Federación Europea de Mantenimiento, se encuentra trabajando con el fin de producir un documento oficial. Dichos documentos proporcionan un método numérico experimental combinado, en el que el análisis estructural de diseño está apoyado por las pruebas específicas para evaluar el desempeño de los componentes (miembros y articulaciones).

### **1.5. Descripción general de los daños que puede ocasionar el colapso de una estantería metálica industrial en la bodega o almacén**

Durante la acción de un terremoto, es frecuente que los elementos no estructurales ocasionen más daño a la actividad económica del área afectada, por ello lo conveniente de analizar el comportamiento de estos elementos.

En la siguiente figura 2 se muestra una visión general de las posibles causas y consecuencias que produce el colapso de una estantería metálica industrial, ya que una colisión de un tenedor de carretilla elevadora, puede producir una falla local que si no es revisada y reparada a tiempo, esta se puede convertir en una falla global, llevando al sistema de estantería al volcamiento o colapso. Sin olvidar que si una parte de la estantería falla, da como resultado un colapso global del sistema de estanterías en el almacén, debido a un efecto dómimo.

Muchos estudios experimentales y analíticos del comportamiento sísmico de las estanterías de almacenamiento; son escasos y los resultados suelen ser privados y en consecuencia, no han influido significativamente en el desarrollo de los códigos y reglamentos relacionados con los sistemas de almacenamiento.

Las pérdidas pueden ser cuantiosas ante el volcamiento de una estantería, pero son aún mayor, cuando las pérdidas son la vida de los clientes o empleados que laboren en el almacén o bodega, por ello la importancia del cuidado y revisión de los sistemas, puesto que los derrames de líquidos que se almacenan en las estanterías, pueden provocar corrosión en los elementos del sistema y con ello fallas locales.

Figura 2. **Colapso de la estantería metálica**



Fuente: CASTIGLIONI. Seismic behavior of steel storage pallet.p.10.

### **1.6. Diferentes riesgos al que está expuesto el personal ante el colapso de las estanterías metálicas**

Tanto el personal de bodega como los clientes de almacenes abiertos al público, se encuentran expuestos a una serie de accidentes que pueden sufrir sino se toma en cuenta los límites, tanto estructurales como de organización de las estanterías metálicas, ya que no precisamente se debe dar un sismo para tener en cuenta los riesgos que se corren, si no se respetan las medidas de prevención.

A continuación se presentan algunos riesgos más comunes que se pueden dar:



- Mala utilización de elementos de carga (paletas y otros) sin tener garantías de resistencia, provocando así caídas de cargas sobre zonas de paso o de trabajo.
- Mala apreciación de la altura de colocación de la carga por parte del conductor del equipo de transporte.
- Sobrecargas locales o generales que producen solicitaciones deformando algunos elementos de la estructura.
- La sobrecarga de las estanterías metálicas también provocan hundimiento en las plataformas de carga
- Reparto inadecuado de las cargas sobre las estanterías: cargas más pesadas situadas en las partes altas.
- No respetar los límites máximos de carga admisibles por desconocimiento del peso real de las cargas manipuladas.
- Golpes o choques de las carretillas de elevación o de su carga, provocando deformaciones de los elementos de la estructura, perjudicando la estabilidad del conjunto.

## **2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS DE LAS ESTANTERÍAS METÁLICAS INDUSTRIALES**

Para el estudio de las estanterías metálicas, es necesario conocer las características físicas (formas, dimensiones), químicas (contenidos de carbono, silicio) y mecánicas (tenacidad) del sistema de almacenamiento para su correcto desempeño y uso.

### **2.1. Características físicas**

Las características físicas para las estanterías metálicas son de suma importancia para conocer las formas y medidas de los elementos que componen la estructura de la estantería.

#### **2.1.1. Altura**

Existen diferentes alturas para las estanterías metálicas industriales, dichas variaciones dependerán de la altura de almacén, bodega, forma de los puntales en los bastidores, de la forma de los largueros y principalmente de la capacidad de carga de la estantería.

En el caso de la altura entre niveles, se obtiene sumando la altura de la paleta con la altura de la carga, la tolerancia más la altura del larguero y se redondea a una medida múltiplo de 50 milímetros.

Tabla I. **Altura entre niveles de la estantería metálica**

ALTURA DE NIVELES	CLASE 400		CLASE 300A		CLASE 300B	
	X3-X4	Y3	X3-X4	Y3	X3-X4	Y3
3 000	75,00	75,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6 000	75,00	100,00	75,00	75,00	100,00	100,00
9 000	75,00	125,00	75,00	75,00	100,00	125,00
12 000	0,00	0,00	75,00	75,00	125,00	150,00
CLASE 400	Esterantería para carretilla de carga frontal					
CLASE 300A	Esterantería para carretillas trilaterales con hombre arriba					
CLASE 300B	Esterantería para carretillas trilaterales con hombre abajo					

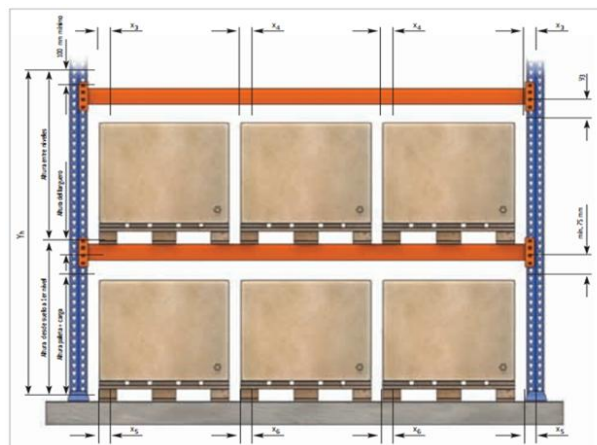
Fuente: Catalogo Mecalux, estantería paletizada convencional. p. 10.

Donde:

X= ancho entre carga

Y= altura entre la carga y el larguero

Figura 3. **Alturas entre niveles de la estantería metálica**



Fuente: Catalogo Mecalux, estantería paletizada convencional, México. p. 11.

### **2.1.2. Capacidad de carga de la estantería metálica**

Las estanterías metálicas se diseñan dependiendo de la carga a soportar, del material que se almacenará y de la configuración que tendrán las estanterías metálicas como sistema dentro del almacén.

### **2.1.3. Forma en larguero y puntales**

En el caso de las formas de las estanterías metálicas, se mencionan las formas de los puntales, los cuales pueden ser en forma de omega o rectangulares, la forma de los largueros depende de la carga a soportar y de la paleta que se colocará sobre el larguero.

## **2.2. Características químicas**

Es importante tener conocimiento de los materiales con que se fabrican las estanterías metálicas y bajo qué condiciones de normas se encuentran dichos materiales, ya que la baja resistencia o capacidad de trabajo de los mismos, pueden provocar en las estanterías metálicas; fallas locales o globales.

### **2.2.1. El acero estructural como material principal**

Para la fabricación de las estanterías metálicas se utiliza el acero estructural, como su principal componente, ya que el acero es un material que se obtiene al combinar el hierro, carbono y pequeñas proporciones de otros elementos, le atribuyen un conjunto de propiedades determinadas. Para darle la forma adecuada de los elementos que componen la estantería, se le realiza 2 procesos de laminado al acero, los cuales pueden ser: laminado en caliente o laminado en frío.

### **2.2.1.1. Laminado en caliente**

Los perfiles laminados en caliente, son aquellos formados a partir de acero fundido en altos hornos a temperaturas elevadas, estos perfiles se caracterizan por ser de bajo peso y alta resistencia. Además que la sección transversal de dicho perfil es constante como la rectangular en los largueros.

### **2.2.1.2. Laminado en frío**

El comportamiento de los perfiles laminados en frío, está determinado por el proceso de formación a temperatura ambiente y por el uso de los materiales de espesores pequeños (espesores normales desde 0,4 milímetros hasta 6,4 milímetros), que dan como resultado elementos esbeltos, con configuraciones geométricas diversas que les permite tener resistencia y rigidez aceptable como elementos de carga. En el laminado de los perfiles, se tienen formas geométricas como perfiles C para los arriostramientos y los perfiles omega para los puntales de la estantería metálica.

### **2.2.2. Características de la soldadura**

El comportamiento de los perfiles laminados en frío, está determinado por el proceso de formación a temperatura ambiente y por el uso de los materiales de espesores pequeños (espesores normales desde 0,4 milímetros hasta 6,4 milímetros), que dan como resultado elementos esbeltos, con configuraciones geométricas diversas que les permite tener resistencia y rigidez aceptable como elementos de carga.

En el laminado de los perfiles, se tienen formas geométricas como perfiles C para los arriostramientos y los perfiles omega para los puntales de la estantería metálica.

Para la conexión de las piezas, se utilizan 2 tipos de soldaduras comúnmente, que son las soldaduras en ángulos y las soldaduras a tope.

#### **2.2.2.1. Soldadura en ángulo**

Son las más sencillas de hacer y son las que se realizan con mayor frecuencia. Son utilizadas para unir una placa con otra o con un miembro, ya sea en posición paralela o sobresaliente.

#### **2.2.2.2. Soldadura a tope**

Proporcionan mayores resistencias que las de ángulo, a causa de ser más favorables en ellas el flujo de fuerzas. Las soldaduras a tope conservan la continuidad de los elementos de placa que se unen a tope a lo largo de sus bordes. Requieren de un biselado especial en los bordes, ya que alcanzan penetración completa en las piezas unidas de la estructura.

#### **2.2.3. Características para la pintura de la estantería**

Tanto en el acero utilizado para las estanterías metálicas como para otras edificaciones estructurales, el recubrimiento que se da con capas de pintura, es una parte importante en cuanto a la durabilidad de la estructura, ya que lo protege de la corrosión y otros factores que pueden provocar un deterioro en la estructura, si no se le da el mantenimiento adecuado. El sistema de pintura, a utilizar, depende del diseño de la estructura, del estado de la superficie de

acero, de la calidad de la aplicación, de las condiciones durante la aplicación y de las condiciones de exposición en servicio.

Se establecen 3 grados de durabilidad de los sistemas de pintura:

- Durabilidad baja (L): de 2 a 5 años
- Durabilidad media (M): de 5 a 15 años
- Durabilidad alta (H): más de 15 años

### **2.3. Características mecánicas**

Para las condiciones de trabajo de las estanterías metálicas, se debe tomar en cuenta la capacidad de trabajo mecánico de los elementos estructurales con que está compuesta la estantería.

#### **2.3.1. Elasticidad**

En un elemento que se da cuando un cuerpo recobra completamente su forma y sus dimensiones originales, al retirársele el esfuerzo. Algunos materiales como el acero, son elásticos en un considerable rango de esfuerzos.

#### **2.3.2. Ductilidad**

Es la propiedad que posee el material, para soportar grandes deformaciones sin que sobrevenga la ruptura bajo esfuerzos de tensión. En el caso del acero con bajo contenido de carbono, como el acero estructural se produce una reducción considerable, en la sección transversal del elemento

bajo esfuerzos de tensión y un alargamiento en el punto de falla, antes que se presente la fractura del elemento.

### **2.3.3. Corte**

El esfuerzo de corte o de cizallamiento, son fuerzas internas que actúan en forma paralela a la sección transversal de un prisma. Se representa variadamente como a T, V o Q.

$$\tau = \frac{P}{A}$$

Donde:

$\tau$  = esfuerzo de corte

P = carga

A = área

### **2.3.4. Flexión**

Es el tipo de deformación que se presenta en un elemento estructural, en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. Si estas fuerzas no superan los límites de flexibilidad y compresión del material, este solo se deforma, si las supera, se produce la ruptura del material.

### **2.3.5. Rigidez**

Es la capacidad que tiene un material o elemento de una estructura, para soportar esfuerzos sin sufrir deformaciones ni desplazarse. Mientras mayor sea



el esfuerzo requerido para producir una deformación dada, más rígido se considera que es el material.

$$k_i = \frac{F_i}{\delta_i}$$

Donde:

$k_i$ = rigidez

$F_i$ = fuerza

$\delta_i$ = desplazamiento

### **2.3.6. Torsión**

La torsión es el efecto que se da cuando un elemento lineal está sujeto a un momento de torsión, el cual existe en un plano perpendicular al eje longitudinal del elemento, por ejemplo cuando una barra rectangular se tuerce, se puede observar que las líneas sobre su superficie no permanecen rectas y que su sección transversal se deforma.

### **2.3.7. Esbeltez**

Es la reducción de resistencia de un elemento sujeto a la compresión axial o a flexo compresión, debida a que la longitud del elemento es grande en comparación con las dimensiones de su sección transversal. La poca capacidad del elemento para resistir la flexión, es la razón principal de su susceptibilidad al pandeo. El medio clásico para representar el pandeo elástico, es la curva de Euler, que adopta la forma.

$$P = \frac{\pi^2 * E * I}{L^2}$$

Donde:

P= carga

$\Pi$ = constante

E= módulo de elasticidad

I= inercia

L= longitud

### **2.3.8. Efecto P delta**

Este efecto es el producto de la carga y la deflexión del elemento en cualquier punto, es decir P por  $\Delta$  o efecto P delta. En otras palabras, se da cuando un el elemento se somete a una fuerza de compresión axial y el elemento sufre un pandeo o una deflexión. Adicionalmente, en elementos esbeltos el efecto P delta, puede precipitar la falla por pandeo.

### **2.3.9. Centro de masa**

Es el punto ubicado en la posición promedio de la masa que compone el objeto. En otras palabras es el punto respecto al cual la suma de los momentos de los incrementos de la masa, es igual a cero.

### **2.3.10. Centro de rigidez**

Se define como el punto a través del cual la resultante de la fuerza resistente de la edificación actúa. Cabe señalar que se le llama centro de

rigidez porque cada elemento de la estructura, resiste la fuerza exterior en proporción a la rigidez que posee.

### **2.3.11. Excentricidad horizontal y vertical**

Se define como el punto de la edificación donde la fuerza lateral actúa. En otras palabras, la excentricidad tanto horizontal como vertical la podemos definir como el punto ubicado en la posición promedio de la masa que compone el objeto.

### **3. CONSIDERACIONES SÍSMICAS, DEL SUELO Y EL PISO INDUSTRIAL PARA LA ESTABILIDAD DE LA ESTANTERÍA METÁLICA**

Para la estabilidad y seguridad de la estantería metálica, así como el producto almacenado en ella, es importante tomar en cuenta consideraciones sísmicas del suelo donde se encuentra el almacén o bodega y también las otras consideraciones que son de suma importancia en el piso industrial.

#### **3.1. Consideraciones sísmicas**

Es importante el estudio de la sismicidad de la región en donde se quiere construir una estructura, pero de igual forma también, es importante la información geológica, ya que permite conocer las características estructurales del lugar. Para el diseño se recomienda considerar el máximo sismo esperado con una probabilidad del 10 por ciento de ser excedido en 50 años.

Además de tomar en cuenta los riesgos tectónicos, las amenazas sísmicas y los riesgos sísmicos que pueden provocar la muerte de personas y la pérdida material en cantidades considerables. Así como el riesgo del derrame de productos tóxicos.

##### **3.1.1. Riesgos tectónicos**

Guatemala es un país que tiene mucha actividad sísmica, ya que en el territorio nacional convergen 3 placas tectónicas: la Placa de Cocos, la del Caribe y la Placa de Norte América, a continuación se describen dichas placas.

- Placa de Cocos ubicada en el sur, en la costa del Pacífico.
- Placa del Caribe, ubicada en la parte central del país.
- Placa de Norte América, ubicada en el norte del país.

### **3.1.2. Amenaza sísmica**

Es la definición de la peligrosidad a la que está expuesta, el lugar o sitio de interés para la construcción de los almacenes o bodegas a utilizar. Dicha peligrosidad involucra los fenómenos secundarios como: ruptura o activación de fallas locales, amplificaciones anómalas, fracturamiento del terreno, hundimientos, licuefacción de suelos.

### **3.1.3. Riesgos sísmicos**

Es importante hacer una evaluación del comportamiento dinámico de la obra, además del estudio de la interacción suelo estructura para determinar la vulnerabilidad de la obra.

### **3.1.4. Efecto de los sismos**

Generalmente el efecto de la fuerza provocado por los sismos, es directamente proporcional al peso muerto de la estructura, sin embargo es muy importante la respuesta de la estructura, en cuanto al período fundamental de vibración y la eficiencia de absorción de energía de la misma ante los movimientos telúricos de diferentes magnitudes.

### **3.1.5. Movimiento de las estructuras**

El desplazamiento que sufre la estructura debido al sismo, causa efectos de desestabilización de la misma, ya que la inercia de la masa de la estructura, provoca la sacudida de la estructura.

### **3.1.6. Fallas en la superficie del suelo**

Las fallas en la superficie del suelo provocan grietas, asentamientos en las estructuras, además de desplazamientos verticales, que conducen al colapso de la misma.

## **3.2. Consideraciones del suelo**

Para las bodegas y almacenes, es necesario tomar en cuenta el tipo de suelo del lugar, en el que se llevará a cabo la construcción, ya que cualquier construcción por muy ligera que sea, si es asentada sobre un tipo de suelo malo, experimentará deformaciones, esto conlleva a grietas en los muros y el levantamiento de pisos.

Por ello la importancia de tener presente las consideraciones de los suelos, ya que por el tipo de almacenamiento que se lleva a cabo con las estanterías metálicas, son comunes las cargas muy pesadas, por ende son comunes los hundimientos de los suelos al no ser estabilizados o tratados adecuadamente, además la estabilidad en la estantería, es parte esencial para que la misma no sufra colapso. Al no tener una losa de piso que este sobre un suelo homogéneo, puede inducir a torsión en la losa y está en las estanterías.

- Métodos para la estabilización del suelo

Los suelos que sufren cambios en la relación entre presión efectiva y deformaciones, son los suelos llamados limos, arcillas cementadas y las rocas de gran porosidad, en otras palabras, son suelos con poca capacidad de carga o susceptibles a los asentamientos, por ello requieren ser estabilizados. Existen 2 métodos para estabilizar suelos; por medio del método químico o por medio del método físico.

### **3.2.1. Estabilización de los suelo mediante métodos químicos**

Para la estabilización del suelo, por medio del método químico, se requiere tener un estudio técnico del suelo previo a la realización del mismo, para asegurar que el suelo alcance estabilidad volumétrica, adecuada resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad, dicho método se realizará en los siguientes casos:

- El suelo cumpla con los requisitos mínimos de resistencia o deformación para sustentar obras de ingeniería civil.
- No pueda ser eliminado o reemplazado por otro.

Tabla II. **Efectividad de los agentes estabilizadores**

TIPO DE SUELO	ARCILLA FINAS	ARCILLAS GRUESAS	LIMOS FINOS	LIMOS GRUESOS	ARENAS FINAS	ARENAS GRUESAS
Tamaño de partícula (mm)	< 0,0006	0,0006-0,002	0,002-0,01	0,01-0,06	0,06-0,4	0,4-2,0
Estabilidad volumétrica	Muy pobre	Regular	Regular	Bueno	Muy bueno	Muy bueno
Cal	SI	SI	SI			
Cemento	NO	NO	NO	NO	SI	SI

Fuente: CE.020. Estabilización de suelos y talud. p. 9.

### 3.2.1.1. **Estabilización con cal**

Los suelos para su correcta estabilización, no deben tener más del 3 por ciento de materia orgánica, es importante que tengan un índice de plasticidad entre 10 y 50. No se debe emplear más del 8 por ciento de cal en el suelo, ya que si bien es cierto que se aumentará la resistencia, pero también se aumentará la plasticidad. Además el tamaño máximo del agregado grueso que contenga el suelo, no debe ser mayor de 1/3 del espesor de la capa compactada de suelo cal.

La dosificación de cal depende del tipo de suelo, por ello se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Estimar el porcentaje de cal en función del pH.



- Elaborar especímenes para el ensayo de compresión no confinada a la humedad óptima y máxima densidad seca.
- Determinar el incremento de la resistencia del suelo estabilizado con cal.

Para la comprobación de la estabilización del suelo con cal, se deberá realizar un análisis técnico según la metodología de California Bearing Ratio (CBR) para evidenciar las mejoras.

### **3.2.1.2. Estabilización con cemento**

Cuando se realiza una estabilización con cemento, lo que se busca es mejorar las propiedades mecánicas de los suelos, en otras palabras, se busca disminuir la plasticidad del mismo e incrementar su resistencia.

Para una correcta estabilización del suelo cemento, se deberá tomar en cuenta lo siguiente:

- Usar cemento de fraguado normal.
- El porcentaje del suelo que pase el tamiz n<sup>o</sup>. 200, debe estar entre el 5 y 35 por ciento para poder ser mezclados con el cemento. Se deberá hacer ensayos de granulometría.
- El límite líquido tiene que ser menor de 50 por ciento y el índice de plasticidad menor de 25 por ciento. El agua debe ser limpia y estar libre de materia orgánica.

- La compactación deberá ser el 95 por ciento como mínimo del ensayo Proctor modificado. Los trabajos de compactación, deberán ser terminados en un lapso no mayor de 2 horas desde el inicio de la mezcla

La mezcla se debe diseñar mediante los ensayos de resistencia a la compresión simple y humedecimiento en testigos.

### **3.2.2. Estabilización de los suelos mediante métodos físicos**

Al realizar la estabilización del suelo por medio del método físico, se busca reducir la permeabilidad del suelo, en otras palabras reducir el porcentaje de vacíos en el suelo, así como aumentar su capacidad de carga. Ya que elimina el hundimiento del mismo.

#### **3.2.2.1. Estabilización por compactación**

Para la estabilización por compactación, se debe especificar la densidad mínima de compactación, además de expresar la densidad máxima del ensayo Proctor estándar o modificado. Es importante aumentar la resistencia al corte del suelo, se debe disminuir la compresibilidad de los mismos para reducir los asentamientos, se debe disminuir la permeabilidad, además de disminuir el potencial de exiación para una correcta estabilización de los suelos.

### **3.3. Consideraciones del piso industrial**

A continuación se presenta una serie de consideraciones para el diseño de un piso industrial, para que se garantice su buen funcionamiento. Existen diversos tipos de fallas que provocan el deterioro del mismo, las cuales son: grietas por esfuerzos de flexión excesiva, deflexiones, asentamientos por

exceso de presión al suelo, y para el caso de cargas altamente concentradas, las fallas o grietas pueden ser provocadas por esfuerzos de cortante excesivos o punzonamiento.

En el caso de la flexión, es una consideración crítica de diseño para los montacargas, pero para las estanterías metálicas la consideración más crítica, es la falla por esfuerzo de cortante o de punzonamiento en la losa del piso.

### **3.3.1. Subrasante**

Si el suelo de la subrasante es un suelo malo o pobre, es necesario el reemplazo del mismo con un material compactable, como se menciona en las consideraciones del suelo, puesto que si la subrasante es débil, es casi seguro que ocurran asentamientos del terreno, provocados por las cargas que provienen de la losa por el peso de las estanterías de almacenamiento y los montacargas, induciendo así a la pérdida de soporte de la losa.

Para la subrasante y la base se deben utilizar material granular de calidad controlada, como arenas, grava arenas y rocas trituradas para garantizar un el buen desempeño de la misma.

### **3.3.2. Fibras**

La función de la fibra en los pisos es la reducción de las grietas pláticas en el concreto fresco, las fibras más utilizadas en los pisos industriales con las metálicas y las sintéticas.

- Las fibras metálicas, son utilizadas para reemplazar en los pisos industriales el acero de refuerzo, ya que reduce el costo y el tiempo de

construcción del piso, además de permitir una mayor separación entre juntas y una mejor transferencia de cargas

- Las fibras sintéticas, son utilizadas para evitar la segregación de los materiales, además de disminuir la posibilidad de agrietamiento por contracción plástica durante la etapa de endurecimiento y contracción inicial del concreto.

### **3.3.3. Acero de refuerzo**

El acero de refuerzo le ayuda al concreto a tener un mejor desempeño, aunque represente un costo adicional, por ello es importante que el diseño del acero de refuerzo, sea acorde a la función que de este se espere.

### **3.3.4. Juntas**

Las juntas son utilizadas para controlar la aparición de grietas en el concreto, ya que le permite al concreto un ligero movimiento que reducen los esfuerzos de restricción, dichos esfuerzos, son causados por cambios volumétricos en una masa de concreto, creando así esfuerzos de tensión. Es recomendable colocar las juntas a cada 3 metros.

Las juntas más utilizadas en un piso industrial son:

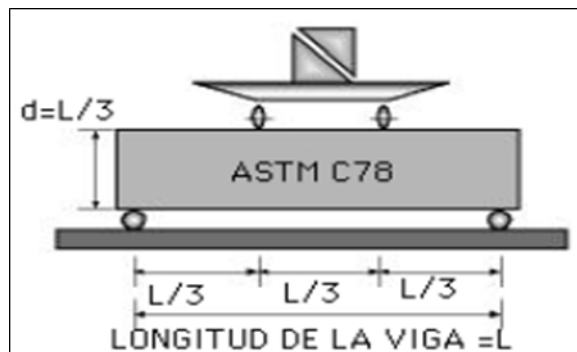
- Juntas de aislamiento.
- Juntas de contracción (longitudinal y transversal).
- Juntas de construcción (longitudinal y transversal).

### **3.3.5. Propiedades del concreto para un piso industrial**

Para el correcto desempeño del almacén o bodega, es necesario contar con un piso industrial de calidad, el mismo debe ser capaz de soportar las cargas y resistir el desgaste. Para lo cual el concreto debe ser capaz de resistir ambas condiciones, por ello la importancia de tomar en cuenta las propiedades del concreto a utilizar para el piso industrial.

- El revenimiento: es necesario moderar la cantidad de agua para evitar la segregación de los agregados pesados, en el caso del piso industrial el revenimiento recomendado se encuentra en un máximo de 12 centímetros, pues es necesario que tenga una superficie plana y nivelada.
- La segregación en el concreto: se da cuando se incrementa la relación agua cemento, esto puede generar una superficie débil, ya que los agregados son asentados, quedando la superficie expuesta.
- Resistencia a la flexión: los esfuerzos de compresión provocados por la carga en la losa, son menores que la resistencia a la compresión del concreto, sin embargo, los esfuerzos de flexión en el concreto son críticos, ya que la tensión del concreto es apenas una pequeña porción de la resistencia a la compresión.

Figura 4. **Ensayo del concreto a flexión**



Fuente: CEMEX. Manual del constructor. Pisos industriales.

### 3.4. **Diseño de la losa para un piso industrial**

Para el diseño de pisos industriales, tanto para losas de almacenamiento a la intemperie o en el interior de las bodegas; se utilizará el método de la Asociación del Cemento Portland.

Las gráficas mostradas en el presente capítulo, ofrecen una manera rápida de determinar el espesor adecuado para ciertas condiciones de carga, los valores que se usaron para el desarrollo de las gráficas de diseño son: para el módulo de elasticidad  $E = 281\,227$  kilogramos por centímetro cuadrado, para el módulo de Poisson  $m = 0,15$ . El procedimiento de diseño y gráficas para dicho diseño, se realizaron con base al Manual de Construcción, de Cementos Mexicanos (CEMEX).

La concentración de los esfuerzos, que los puntales de las estanterías metálicas le inducen al piso industrial, pueden ser más grandes que los esfuerzos causados por las cargas de las llantas de los vehículos que operan

en las bodegas o almacenes, es por esta razón que las cargas de los puntales llegan a controlar el espesor de diseño de la losa de piso.

Es por esta razón que se deberá tener cuidado en los esfuerzos de corte producidos por el área de contacto de los pies metálicos de las estanterías hacia el piso industrial, ya que si el área del pie metálico es muy pequeña, le transmitirá la mayor concentración del esfuerzo en un área reducida al piso, por ende le provocará a la losa fallas de punzonamiento. El área de la base o pie metálico de los puntales, deberá tener las dimensiones adecuadas para que la carga actuante no exceda de 4,2 veces el módulo de ruptura del concreto.

El factor permisible para el esfuerzo de cortante, es 0,27 veces el módulo de ruptura del concreto.

La información específica para el diseño es:

- Carga máxima de poste
- Área de contacto de la carga
- Espaciamiento entre postes
- Resistencia de la subrasante
- Resistencia a la flexión del concreto, MR
- Factor de seguridad

### **3.4.1. Factores de seguridad para cargas en puntales**

Para las estanterías altas, el factor de seguridad es más grande que el usado en las estanterías de poca altura y cargas de vehículos, el factor más alto recomendado es de 4,8 utilizado en los casos; en donde los puntales se consideran como un elemento estructural crítico, es decir que es considerado como columna.

### **3.4.2. Factores de junta para puntales**

La mayoría de la veces, la alineación de la columnas coinciden con las juntas de construcción o las juntas de contracción, por esta razón se recomienda un factor de juntas de 1,6 para las cargas que inducen los puntales de las estanterías. Además la distancia entre juntas será de 3 metros.

### **3.4.3. Cálculo del espesor de la losa base**

Se realiza el procedimiento para el cálculo de la losa base del piso industrial, tomando en cuenta los esfuerzos de cortante actuante y permisible. Para la reacción  $k$  de la subrasante se utilizaron las gráficas del anexo 1. Considerando que 50 pulgadas por centímetro cúbico para un suelo es malo, 100 pulgadas por centímetro cúbico un suelo intermedio y 200 pulgadas por centímetro cúbico para un suelo es bueno.

- Espaciamiento de puntales

Para el espaciamiento de la separación de puntales en la dirección longitudinal de la estantería metálica, se utiliza  $Y$ , para su localización y el espaciamiento en el sentido transversal se localiza con  $X$ . La gráfica del anexo



1 que se utilizará para proveer espaciamentos entre 40 a 100 pulgadas y los espaciamentos intermedios se deberá interpolar en la gráfica.

Longitudinal (Y): 2,54 metros (100 pulgadas)

Transversal (X): 1,10 metros (43 pulgadas)

- Carga por puntal

La carga máxima por nivel, es de 1 800 kilogramos para una estantería con 4 niveles de largueros con espaciamento entre largueros de 1,5 metros.

$$(1\ 800\ \text{kg} \times 4) = 7\ 200\ \text{kg} = 7,2\ \text{tons.} = 16\ \text{kips en cada punta.}$$

- Dimensionamiento del pie metálico

Para un puntal de 80 milímetros de ancho, se usará un pie metálico de 150 mm de ancho con 120 milímetros de profundidad.

- Área de contacto del pie metálico

El área de contacto del pie metálico con la losa de piso, es la siguiente:

$$\text{Área de contacto } 180\ \text{cm}^2 = 28\ \text{pul}^2$$

- Datos de subrasante y del concreto

Se elige el módulo de reacción de la subrasante dependiendo del tipo de suelo que se tenga en el lugar. Los valores del módulo de reacción k

representan condiciones del suelo para bajas, medias y alta condiciones de soporte.

Módulo de reacción  $k$  de subrasante: 50 pulgadas por centímetro cúbico

Resistencia de flexión en el concreto: MR de 44 kilogramos por centímetro cuadrado a 28 días.

- Espaciamiento para juntas del piso

Generalmente las juntas van alineadas con los puntales.

Espaciamiento de columnas= 9,00 metros (30 pies).

Espaciamiento de juntas= 3,00 metros (10 pies).

- Cálculo del factor de seguridad (FS)

Se selecciona un factor de seguridad de 2,0, ya que es menor a los 10,7 metros de altura (35 pies).

- Cálculo del Factor de Junta (FJ)

Se selecciona el factor de junta de 1, ya que la separación entre juntas es de 3 metros. Si la separación entre juntas fuese de 4,5 metros se usará un factor de 1,6 debido a límite de separación.

- Esfuerzo de trabajo en el concreto (WS)

Se calculó el esfuerzo de trabajo en el concreto.

$$WS = \frac{MR}{FS * FJ}$$

$$WS = \frac{640 \text{ psi}}{2 * 1} = 320 \text{ psi}$$

- Esfuerzo de los por 1 000 libras

Es el esfuerzo en la losa por cada 1 000 libras de carga que llegan a cada puntal.

$$\frac{WS}{\text{Carga por puntal}}$$

$$\frac{320}{16} = 20 \text{ psi}$$

Para el valor de k = 50 pulgadas por centímetro cúbico de la subrasante, se usa la gráfica del anexo 1. En la parte izquierda de la gráfica se localiza el punto correspondiente a un esfuerzo de 20 libras por pulgada cuadrada y un área de contacto de 28 pulgadas cuadradas, después se desplaza hacia la derecha en línea recta hasta el espaciamiento de postes Y de 100 pulgadas, en ese punto se mueve en línea vertical hasta encontrar el espaciamiento X de 43 pulgadas. De este punto se desplaza en línea recta hacia la derecha para encontrar el espesor de diseño resultante de 11 pulgadas.

Para determinar si el área efectiva de contacto es significativamente más grande que el área de contacto actual, se utilizará la gráfica del anexo 1. Para 11 pulgadas de espesor de losa y 28 pulgadas cuadradas de área de contacto es menor que el área efectiva de contacto, es 58 pulgadas cuadradas.

El siguiente paso, es la revisión por capacidad de carga, comprobando que el esfuerzo de carga actuante y el esfuerzo cortante se encuentren dentro de los límites aceptables.

- Revisión por capacidad de carga

Se realiza el chequeo correspondiente para medir la capacidad de carga permisible que tiene que ser mayor que la capacidad de carga actuante.

- Capacidad de carga admisible

Se multiplica 4,2 como factor de carga máxima, por el módulo de ruptura a los 28 días para carga en el interior de la losa de piso.

$$\text{Capacidad de carga permisible} = 4,2 * 640 \text{ psi} = 2\ 688 \text{ psi}$$

Para las cargas en el borde de la losa o esquinas, se utiliza el factor de 2,1 veces (la mitad que la aplicable para carga interior) el módulo de ruptura a los 28 días.

$$\text{Capacidad de carga permisible} = 2,1 * 640 \text{ psi} = 1\ 344 \text{ psi}$$

- Esfuerzo de carga actuante

Para la revisión de las cargas, el esfuerzo actuante debe ser menos que el esfuerzo permisible.

$$\text{Cargas por poste / \u00e1rea de contacto} = 16\,000 \text{ lbs} / 28 \text{ pulg}^2 = 572 \text{ psi}$$

$$572 \text{ psi} < 2\,688 \text{ psi}$$

$$572 \text{ psi} < 1\,344 \text{ psi}$$

- Revisi\u00f3n por esfuerzos cortantes

Se realiza el chequeo correspondiente para medir los esfuerzos cortante permisible que tiene que ser mayor que el esfuerzo cortante actuante.

- Esfuerzo de cortante permisible

Se calcula el esfuerzo de cortante permisible para el concreto.

$$\text{Esfuerzo de cortante permisible} = 0,27 * MR$$

$$\text{Esfuerzo de cortante permisible} = 0,27 * 640 = 173 \text{ psi}$$

- Esfuerzo de cortante actuante

Se calcula el esfuerzo de cortante actuante para el concreto en las siguientes \u00e1reas de la losa de piso: interna, de borde y esquinas.

- Para cargas interiores

Cálculo de las cargas actuantes en el interior de la losa de piso.

$$\frac{\text{Carga por puntal}}{\text{Espesor de losa} \times \text{perímetro} + 4 \times \text{Espesor de losa}}$$

Donde el perímetro es igual a 4 veces la raíz cuadrada del área de contacto, es decir  $4(28)^{1/2}$ .

$$\frac{16000}{11 \times 21 + 4 \times 11} = 22,40 \text{ psi}$$

- Para carga de borde

Cálculo de las cargas actuantes en los bordes de la losa de piso.

$$\frac{\text{Carga por puntal}}{\text{Espesor de losa} \times 0,75 \times \text{perímetro} + 2 \times \text{Espesor de losa}}$$

$$\frac{16000}{11 \times 0,75 \times 21 + 2 \times 11} = 39 \text{ psi}$$

- Para carga de esquina

Cálculo de las cargas actuantes en las esquinas de la losa de piso.

$$\frac{\text{Carga por puntal}}{\text{Espesor de losa} \times 0,5 \times \text{perímetro} + \text{Espesor de losa}}$$

$$\frac{1\ 6000}{11 \times 0,5 \times 21 + 11} = 68 \text{ psi}$$

- Comparación de los esfuerzos de cortantes actuante de la losa de piso con el esfuerzo cortante permisible

Esfuerzo de cortante actuante < Esfuerzo de cortante permisible

$$22,40 \text{ psi} < 173 \text{ psi}$$

$$39 \text{ psi} < 173 \text{ psi}$$

$$68 \text{ psi} < 173 \text{ psi}$$

Los esfuerzos de cortantes calculados para las esquinas, bordes e interiores, son significativamente más bajos que el esfuerzo cortante permisible del concreto, por lo que el espesor encontrado de 11 pulgadas es apropiado.

En caso de que las cargas sean muy grandes, los espesores de las losas de concreto simple también serán relativamente grandes, este incremento en el espesor de la losa representaría un elevado costo económico en la construcción del piso industrial, por ello es necesario acudir a diseños alternativos, tales como:

- Diseñar estructuralmente las losas con acero de refuerzo
- Incluir en el diseño del piso fibra metálica

#### **4. ENSAYOS DE LA ESTANTERÍA METÁLICA INDUSTRIAL A FLEXO COMPRESIÓN, RESULTADO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Los ensayos se llevaron a cabo en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, en la Sección de Estructuras, dichos ensayos fueron realizados para la evaluación y análisis del comportamiento de las estanterías metálicas, las cuales se sometieron a fuerzas de compresión.

El ensayo de flexo compresión se realizó a 4 muestras, de las cuales, a 2 se le aplicó carga solo en los largueros, a diferencia de las otras 2 muestras, que se les aplicó carga tanto en los largueros como a los bastidores simulando las fuerzas de sismo.

Los resultados obtenidos, se analizaron en longitudinal (flexión, torsión en los largueros), en el caso del sentido transversal (fuerzas sísmicas en los bastidores).

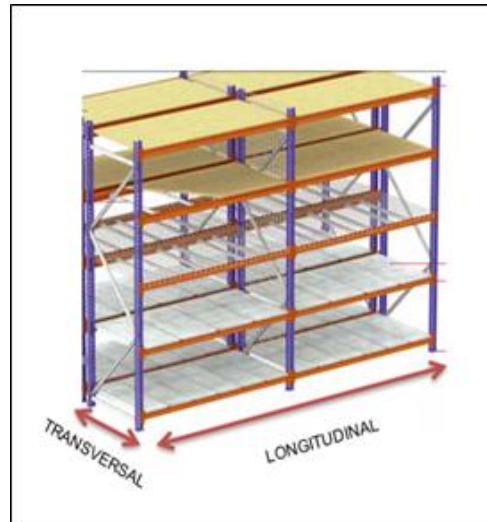
Para los ensayos se utilizó el siguiente equipo:

- Deformometro
- Metro
- Máquina universal hidráulica
- Gato hidráulico

En la siguiente figura 5, se muestra el sentido longitudinal y transversal de las estanterías metálicas industriales:



Figura 5. **Sentido transversal y longitudinal de la estantería**



Fuente: Catálogo Mecalux. Argentina. p. 38.

#### **4.1. Descripción del ensayo de la muestra 1**

Una de las principales características de dicha estantería, es el tipo de unión bastidor larguero, ya que se utilizan pernos para el agarre y la estabilidad del larguero con el bastidor.

Se armó la estantería dejando entre cada nivel de larguero, 0,9 metros de distancia. Posteriormente la estantería fue posicionada de tal manera que los bastidores quedaran paralelos a la máquina universal hidráulica, mientras que los largueros quedaron en forma transversal a las vigas de aplicación de carga de dicha máquina. Para finalizarla tarima metálica del segundo nivel de los largueros fue centrada para la distribución de la carga aplicada.

Las cargas se aplicaron en forma paulatina, iniciando con un peso de medio de 1 814 kilogramos, luego se le fue aumentando un peso de 400 kilogramos en cada carga, hasta llegar a los 3 628 kilogramos que fue la carga máxima, para después iniciar la descarga, en forma paulatina nuevamente hasta llegar a 0 kilogramos.

Para medir la deformación que sufrió la estantería al ser sometida a distintos niveles de carga, se utilizaron los deformómetros, estos se colocaron tanto en los largueros como en los bastidores, específicamente en los puntales.

Para una mejor comprensión de la colocación de los deformómetros en la estantería, se detalla a continuación:

- Larguero A, en dicho larguero se colocaron los deformómetros DEF 1 y el DEF 3.
- Larguero B, se colocaron los deformómetros DEF 2 y el DEF 4.
- Puntal A, se colocó el deformómetro DEF 5.
- Puntal B, se colocó el deformómetro DEF 6.

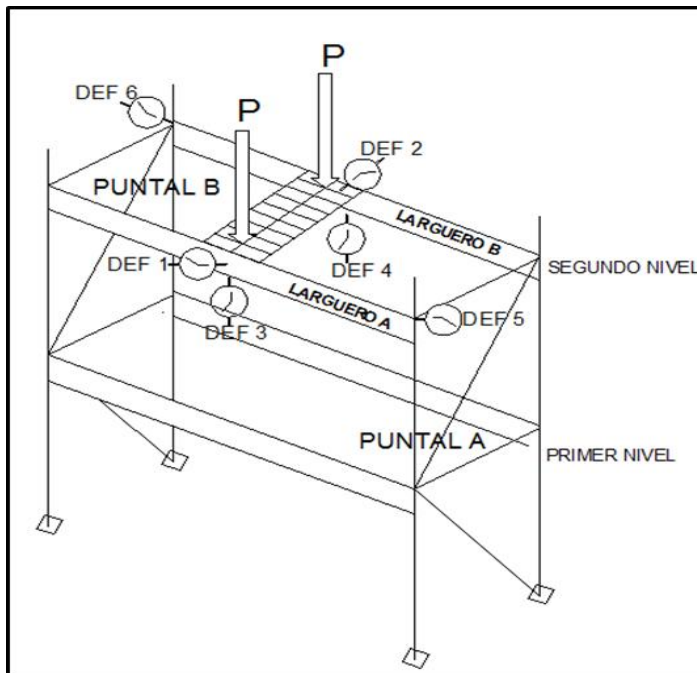
La función de los deformómetros, es la medición de la deflexión y torsión de los largueros, así como la deflexión que sufren los puntales en los bastidores. La función de cada deformómetro se detalla a continuación:

- DEF 1 y DEF 2, se midió la flexión en los largueros A y B.
- DEF 3 y DEF 4, se midió la torsión en los largueros A y B.

- DEF 5 y DEF 6, se midió la deformación de los puntales A y B respectivos.

A continuación, se muestra un esquema de la colocación de los deformómetros y la identificación de los elementos de la estantería para el análisis de los resultados.

Figura 6. **Ubicación de los deformómetros e identificación de los largueros y puntales**



Fuente: elaboración propia, con programa Auto Cad 2013.

Luego se procedió a la aplicación de la carga y a la toma de datos para la evaluación del comportamiento del sistema. (Ver figura 8 y 9).

Figura 7. **Armado de la estantería metálica y colocación de los deformómetros**



Fuente: Centro de Investigaciones Ingeniería. Sección de estructuras.

Figura 8. **Larguero con carga aplicada**



Fuente: Centro de Investigaciones Ingeniería. Sección de estructuras.

#### 4.1.1. Resultado y análisis de la estantería

Con los datos obtenidos del deformómetro, se procedió la tabulación y al análisis de los mismos, para un mejor estudio del comportamiento de las estanterías antes las cargas aplicadas.

Tabla III. **Resultados generales de la muestra 1, carga en kilogramos y deformaciones en milímetros**

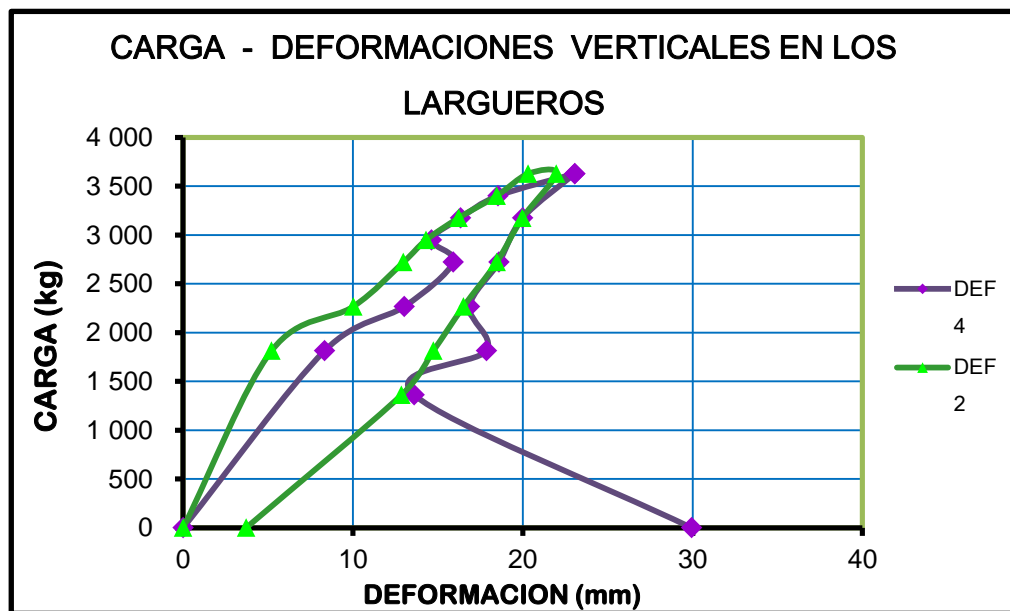
CARGA (kg)	FLEXIÓN L		TORSIÓN L		DEFORMACIÓN B	
	DEFORMACIÓN 1 (mm)	DEFORMACIÓN 2(mm)	DEFORMACIÓN 3(mm)	DEFORMACIÓN 4(mm)	DEFORMACIÓN 5(mm)	DEFORMACIÓN 6(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1 814,06	5,23	5,21	1,68	8,33	4,10	1,52
2 267,57	5,18	10,02	2,84	13,03	4,18	1,51
2 721,09	5,16	12,97	4,24	15,90	4,38	1,25
2 947,85	5,14	14,30	5,82	14,63	4,48	1,15
3 174,60	5,13	16,22	6,64	16,33	4,69	1,02
3 401,36	5,11	18,47	7,53	18,54	4,84	0,91
3 628,12	5,08	20,32	7,53	23,06	1,93	0,69
3 628,12	5,08	21,971	8,51	23,06	1,93	0,62
3 174,60	-102,108	19,977	8,51	19,99	1,89	0,58
2 721,09	-0,0127	18,461	8,51	18,59	4,57	0,58
2 267,57	51,308	16,510	8,52	16,87	4,55	0,43
1 814,06	51,943	14,732	8,52	17,86	4,49	0,41
1 360,54	52,324	12,852	7,53	13,61	4,39	1,9
0,00	54,102	3,708	8,46	29,95	-1,3	0,09

Fuente: elaboración propia, con base en resultados de ensayos.

#### 4.1.1.1. Flexión en el larguero

Se presenta la gráfica obtenida de la tabla III de resultados generales, para el comportamiento de los largueros ante los distintos niveles de carga aplicada.

Figura 9. Flexión en los largueros A y B



Fuente: elaboración propia, con base en resultados de ensayos

Como se muestra en la figura 10, la carga de diseño para la estantería metálica, esta en el orden de los 1 800 kilogramos, puesto que para ese nivel de carga, en el cual ambos largueros se mantuvieron en el rango elástico, se presenta una deformación de 5,21 milímetros en el larguero A y el larguero B tiene una deformación de 8,3 milímetros.

Después de los 1 800 kilogramos, el larguero presenta varios rangos de deformación hasta la carga máxima de 3 628 kilogramos, en la cual la deformación fue de 7,53 milímetros para el larguero A y para el larguero B fue de 23,06 milímetros.

Para la descarga, el larguero A tiene una deformación permanente de 3,70 milímetros y el larguero B presenta una deformación permanente de 30 milímetros.

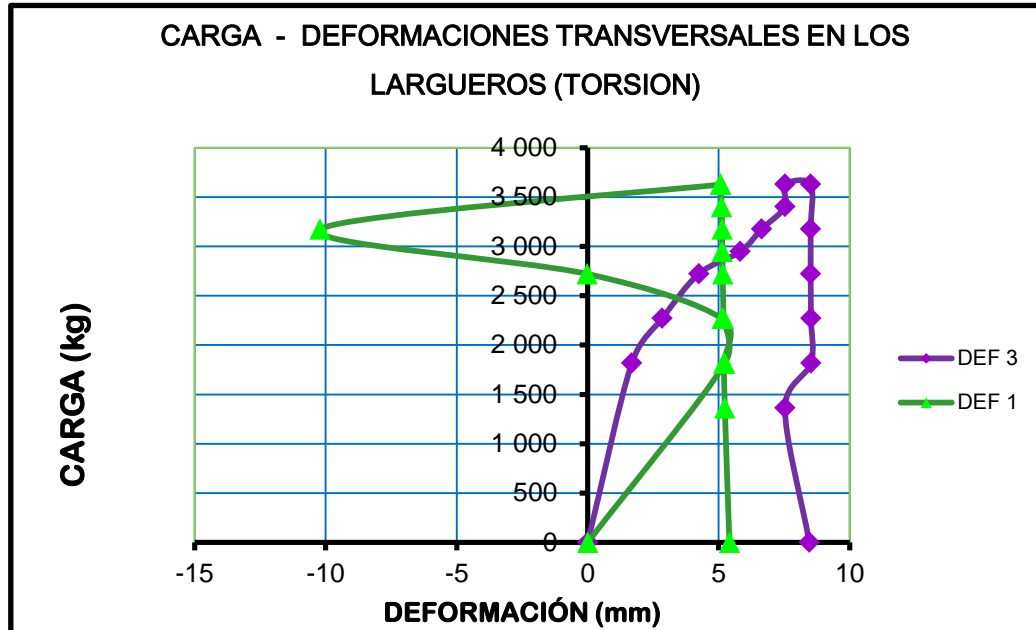
En el caso del larguero B, que es el que se encuentra empotrado en los lados que tiene mayor rigidez, ya que el arriostamiento limita la deformación en los lados del larguero que se encuentra empotrado y eso conlleva a que la mayor deflexión la tenga en la parte del centro del larguero.

Otro factor que rigidiza el larguero en los lados, es la unión del bastidor larguero (tornillos), ya que restringe la rotación o giro de los largueros con el bastidor ante cargas muy elevadas.

#### **4.1.1.2. Torsión en el larguero**

Se evalúa el comportamiento de los largueros ante el fenómeno de torsión analizando los resultados obtenidos con en los ensayos. Con las restricciones que en la unión larguero-bastidor es de tornillos.

Figura 10. Torsión en los largueros A y B



Fuente: elaboración propia, con base en resultados de ensayos.

En el análisis por torsión, tanto el larguero A como el larguero B, presentan deformación de 5,23 milímetros y 1,68 milímetros respectivamente, en una carga de 1 800 kilogramos, en dicha carga la estantería está trabajando en el rango elástico.

Como se puede apreciar en la figura 11, el larguero A es el que sufre mayor deformación con 10,21 milímetros con una carga de 3 174 kilogramos, ya que el mismo no tiene el arriostramiento que le da mayor rigidez, por ende su fuerza de giro será mayor que la del larguero B.

A diferencia del larguero B, el larguero A tendrá una deformación permanente menor con 5,41 milímetros, pues el elemento horizontal tiene



mayor libertad de movimiento que el larguero B que sufre una deformación permanente de 8,46 milímetros.

Al analizar y evaluar el comportamiento de ambos largueros con sus respectivas cargas, como se muestra en las gráficas figuras 10 y 11, los largueros sufrieron una combinación de flexión y torsión al mismo tiempo, es decir los elementos horizontales se flectaron y giraron simultáneamente sin cambios en su sección transversal.

Figura 11. **Se muestra el efecto flexo torsión**

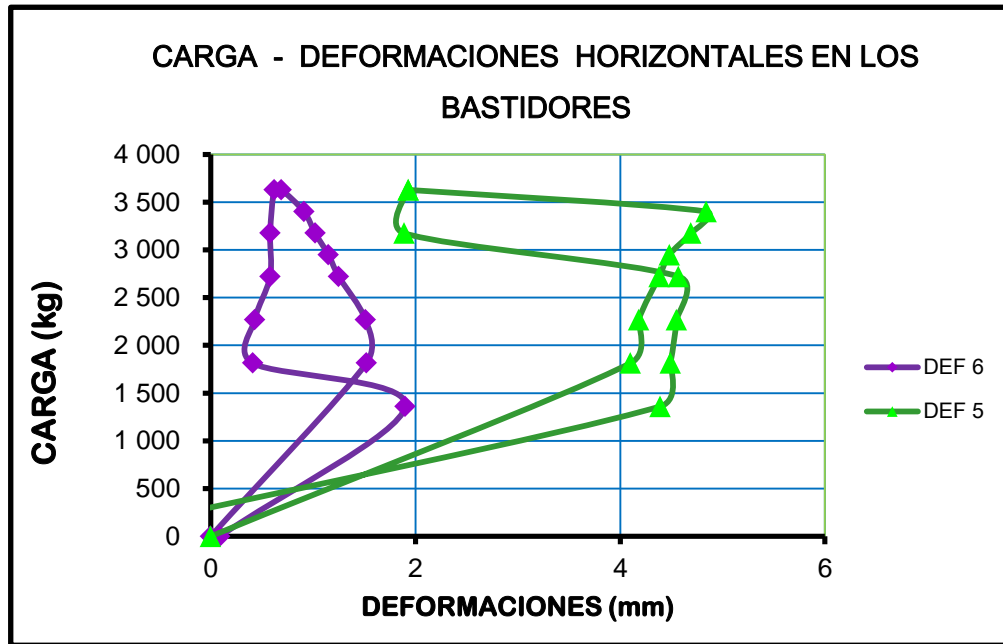


Fuente: Centro de Investigaciones Ingeniería. Sección de estructuras.

#### **4.1.1.3. Comportamiento del bastidor**

Se presentan los resultados y el análisis del bastidor, como sistema compuesto por los puntales y los arrojamientos ante las acciones que se pueden dar en el sentido horizontal. Se evaluará la torsión y la esbeltez en el bastidor.

Figura 12. Deformación en los bastidores (puntal A y B)



Fuente: elaboración propia, con base en resultados de ensayos.

El puntal A presenta una deformación de 1,52 milímetros con una carga de 1 800 kilogramos y en el caso del puntal B, presenta una deformación de 4,10 milímetros con dicha carga. Ambos puntales sufrieron giros a partir de la carga de 1 800 kilogramos, pero en la descarga regresaron a su posición original sin sufrir una deformación permanente.

Las configuraciones de los arrostramientos en los bastidores, es muy importante a la hora de brindarle rigidez al sistema, especialmente ante fuerzas laterales, en este caso, la estantería presenta una configuración de arrostramientos en k, la cual le brinda mayor estabilidad a los puntales, ante fuerzas laterales y de compresión.

## 4.2. Descripción del ensayo de la muestra 2

La unión bastidor-larguero para este tipo de estanterías metálicas, es un sistema en forma de grapas, es decir el puntal posee unas ranuras en las cuales van anclados los largueros, por medio de unos ganchos que posee dicho larguero.

Se armó la estantería dejando entre cada nivel de larguero 1,5 metros de distancia. Se colocó la estantería, de tal manera que los bastidores quedarán paralelos a la máquina universal hidráulica, mientras que los largueros quedaron en forma transversal a las vigas de aplicación de carga de dicha máquina. Se colocó una tarima metálica en el segundo nivel de los largueros justo en el centro para la distribución de la carga aplicada.

Las cargas se aplicaron en forma paulatina, iniciando con un peso de medio 1 360 kilogramos, luego se le fue aumentando un peso de 450 kilogramos en cada carga, hasta llegar a los 2 721 kilogramos que fue la carga máxima, para después iniciar la descarga, en forma paulatina nuevamente, hasta llegar a 0 kilogramos.

Para medir la deformación que sufrió la estantería al ser sometida a distintos niveles de carga, se utilizaron deformómetros, estos se colocaron tanto en los largueros como en los bastidores, específicamente en los puntales.

Para una mejor comprensión de la colocación de los deformómetros en la estantería, se detalla a continuación:

- Larguero A, en dicho larguero se colocaron los deformómetros DEF 1 y el DEF 3.

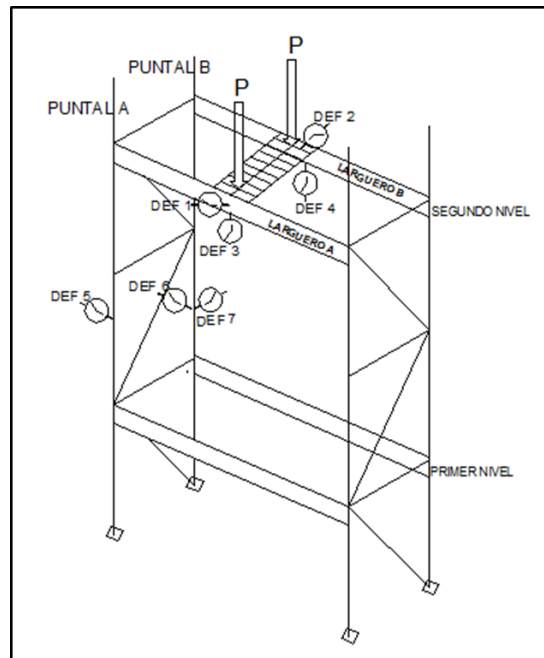
- Larguero B, se colocaron los deformómetros DEF 2 y el DEF 4.
- Puntal A, se colocó el deformómetro DEF 5.
- Puntal B, se colocó el deformómetro DEF 6.

La función de los deformómetros es la medición de la deflexión y torsión de los largueros, así como la deflexión que sufren los puntales en los bastidores. La función de cada deformómetro, se detalla a continuación:

- DEF 1 y DEF 2, se midió la flexión en los largueros A y B.
- DEF 3 y DEF 4, se midió la torsión en los largueros A y B.
- DEF 5, DEF 6 y DEF 7 se midió la deformación de los puntales A y B respectivos.

A continuación se muestra un esquema de la colocación de los deformómetros y la identificación de los elementos de la estantería para el análisis de los resultados.

Figura 13. **Ubicación de los deformómetros e identificación de los largueros y puntales**



Fuente: elaboración propia.

Luego se procedió a la aplicación de carga y a la toma de datos para la evaluación del comportamiento del sistema. (ver figura 15 ).

Figura 14. **Aplicación de carga en los largueros**



Fuente: Centro de Investigaciones Ingeniería. Sección de estructuras.

#### 4.2.1. Resultado y análisis de la estantería

Con los datos obtenidos del deformómetro, se procedió la tabulación y al análisis de los mismos, para un mejor estudio y comprensión del comportamiento de las estanterías metálicas.

Tabla IV. **Resultados generales de la muestra 2, carga en kilogramos y deformaciones en milímetros**

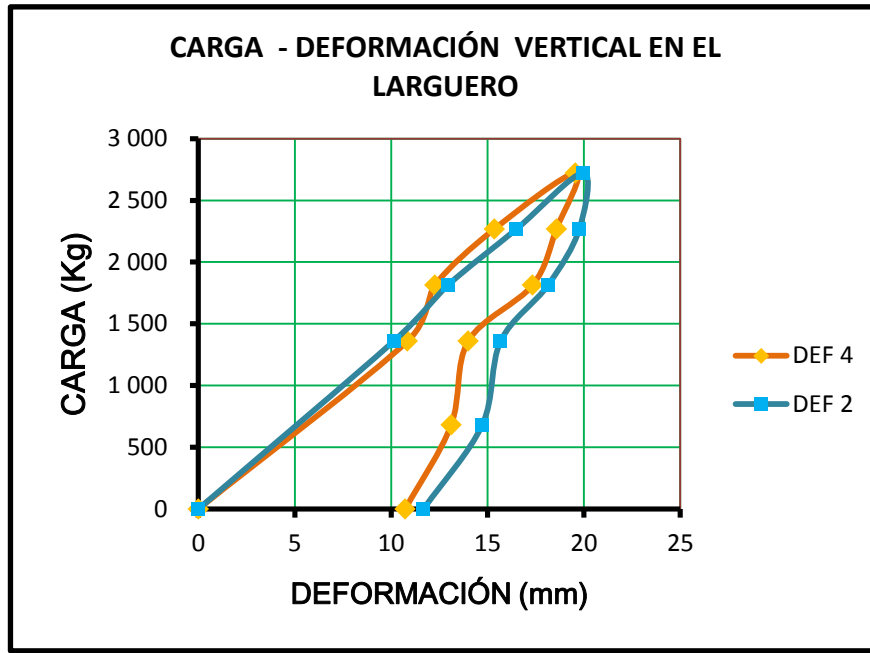
CARGA (Kg)	FLEXIÓN L		TORSIÓN L		DEFORMACIÓN B	
	DEFORMACIÓN 1 (mm)	DEFORMACIÓN 2 (mm)	DEFORMACIÓN 3 (mm)	DEFORMACIÓN 4 (mm)	DEFORMACIÓN 6 (mm)	DEFORMACIÓN 7 (mm)
0,00	4,00	2,00	9,00	6,00	5,21	4,95
1 360,54	1,195	10,14	9,00	10,85	1,17	-1,88
1 814,06	1,74	12,95	9,00	12,27	1,50	-1,63
2 267,57	10,21	16,5	9,02	15,35	1,75	-1,32
2 721,09	19,88	19,95	9,24	19,56	2,16	-0,91
2 267,57	19,87	19,76	9,31	18,57	2,06	-1,04
1 814,06	19,94	18,14	9,31	17,34	1,78	-1,35
1 360,54	10,22	15,68	9,27	14,00	1,45	-1,68
680,27	10,34	14,72	9,27	13,11	1,37	-1,83
0,00	9,01	11,68	no lectura	10,73	-0,33	-0,30

Fuente: elaboración propia.

##### 4.2.1.1. Flexión en el larguero

Se analizaron los resultados obtenidos de la carga aplicada en los largueros para medir la deflexión que se presentó en dichos largueros, durante el ensayo.

Figura 15. Flexión en los largueros A y B



Fuente: elaboración propia.

Como se muestra en la figura 19, la carga de diseño para la estantería metálica esta en el orden de los 1 300 kilogramos, puesto que para ese nivel de carga, en el cual ambos largueros se mantuvieron en el rango elástico, se presenta una deformación de 1,19 milímetros en el larguero A y el larguero B tiene una deformación de 10,14 milímetros.

Después de los 1 300 kilogramos, el larguero presenta varios rangos de deformación hasta la carga máxima de 2 721 kilogramos, en la cual la deformación fue de 19,88 milímetros para el larguero A y para el larguero B fue de 19,95 milímetros.

Para la descarga, el larguero A tiene una deformación permanente de 9,01 milímetros y el larguero B presenta una deformación permanente de 11,68 milímetros.

En el caso del larguero A, que es el que se encuentra empotrado en los lados que tiene mayor rigidez, ya que el arriostramiento, limita la deformación en los lados del larguero que se encuentra empotrado. Pero a diferencia de la muestra 1, la muestra 2 como se mencionó anteriormente, se encuentra unido el larguero con el bastidor, por medio del sistema de grapas, que dicho sistema permite que el larguero tenga cierto acomodo cuando son aplicadas las cargas.

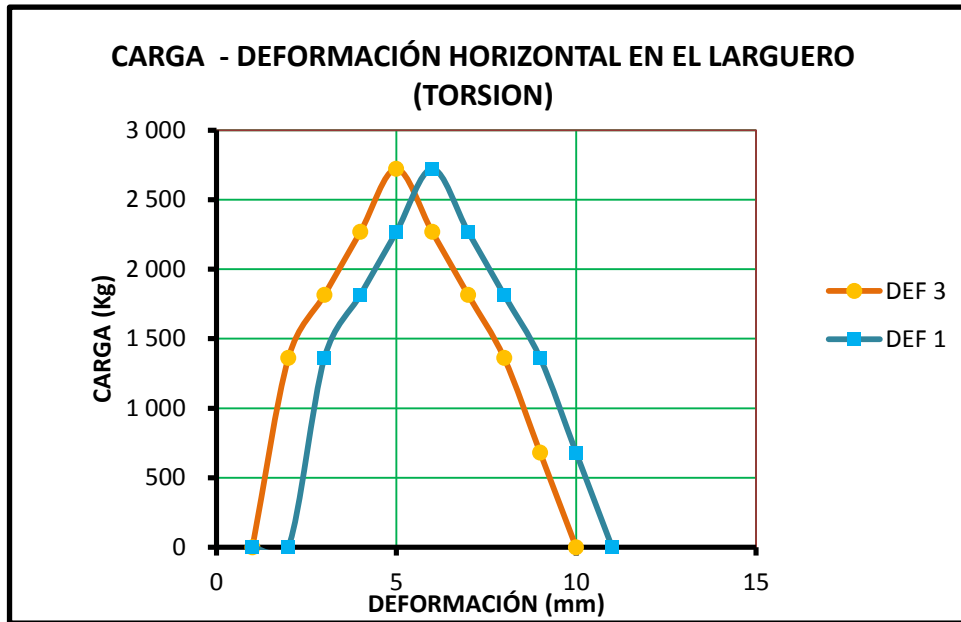
Por esta razón, presenta menor deformación permanente en la descarga el larguero A, de la muestra 2 con 9,01 milímetros, que el larguero B de la muestra 1 con una deformación de 30 milímetros.

#### **4.2.1.2. Torsión en el larguero**

Se evalúa el comportamiento de los largueros ante el fenómeno de torsión. Con las restricciones que en la unión larguero-bastidor es el sistema de grapas.



Figura 16. Torsión en los largueros A y B



Fuente: elaboración propia.

En el análisis por torsión, tanto el larguero A como el larguero B presentan deformación 9,00 milímetros y 10,85 milímetros respectivamente, con una carga de 1 300 kilogramos, en dicha carga la estantería está trabajando en el rango elástico.

Como se puede apreciar en la figura 20, el larguero B es el que sufre mayor deformación con 19,56 milímetros con una carga de 2 721 kilogramos, ya que el mismo no tiene el arriostramiento que le da mayor rigidez, por ende su fuerza de giro será mayor que la del larguero A, que presenta una deformación permanente de 9,24 milímetros.

Al analizar y evaluar el comportamiento de ambos largueros con sus respectivas deformaciones, como se muestra en las figuras 19 y 20, los largueros sufrieron una combinación de flexión y torsión al mismo tiempo, es decir los elementos horizontales se flectaron y giraron simultáneamente sin cambios en su sección transversal.

A diferencia de la muestra 1, los largueros de la muestra 2 se deformaron en forma similar y uno de los factores que influye es el sistema de unión de grapas, para los batidores-largueros ya que le permite al larguero acomodarse con el bastidor ante la carga.

Figura 17. **Aplicación de carga muestra 2**

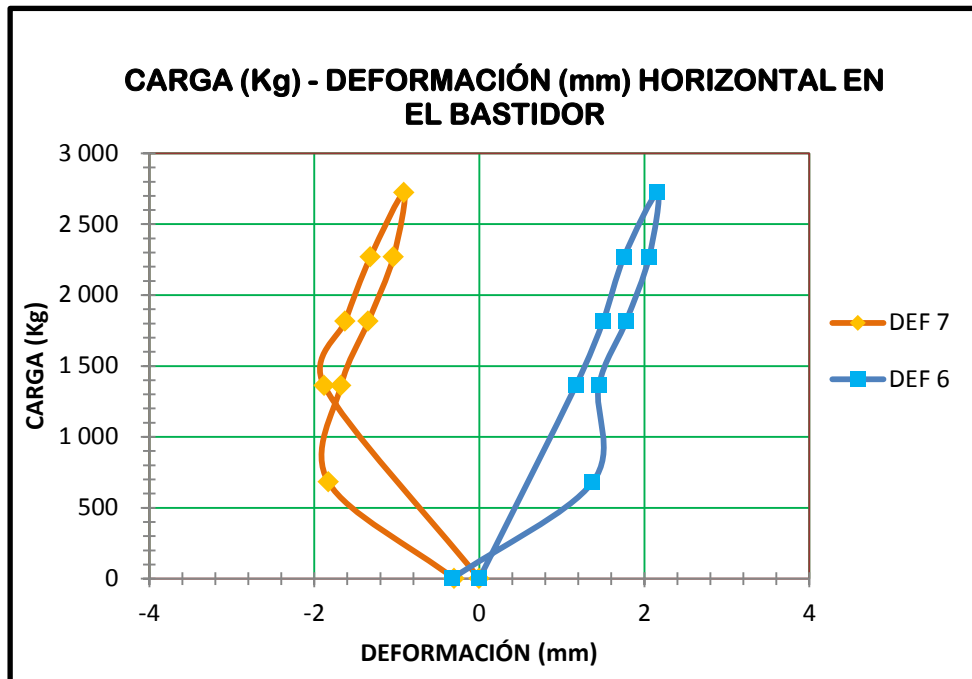


Fuente: Centro de Investigaciones Ingeniería. Sección de estructuras.

#### **4.2.1.3. Comportamiento del bastidor**

Se analiza el bastidor con la carga que se le aplica al sistema, para determinar las deformaciones y comportamiento del mismo, para una mejor comprensión y estudio.

Figura 18. Deformación en milímetros en los bastidores (puntal B)



Fuente: elaboración propia, con base en resultados de ensayos.

Para efectos de análisis, se colocaron al mismo puntal 2 deformómetros; uno mide la deformación lateral y el otro la deformación del frente, la deformación lateral fue de 1,17 milímetros y la del frente de 1,88 milímetros negativo, por lo tanto, muestra que el puntal presenta el mismo intervalo de deformación en ambos lados. Dicha medida se tomó cerca del arriostamiento, por ende tiene mayor rigidez que el puntal A.

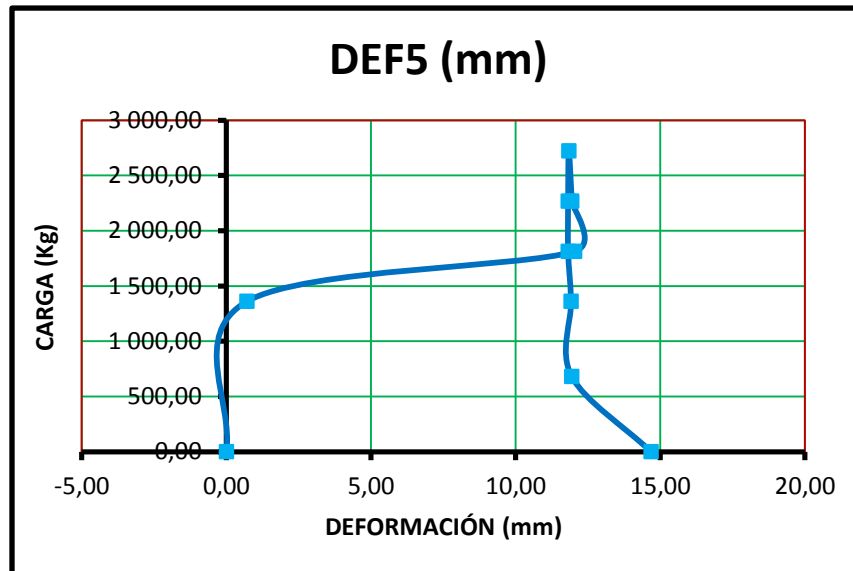
El puntal B, presentó en la descarga una deformación permanente de 0 milímetros, en otras palabras, el puntal tuvo pequeños giros pero se recuperó, quedando sin deformación alguna.

Tabla V. **Resultados generales de la muestra 2, carga en kilogramos y deformaciones en milímetros en el puntal A**

CARGA (Kg)	DEFORMACIÓN 5 (mm)
0,00	0,00
1 360,54	0,71
1 814,06	12,04
2 267,57	11,94
2 721,09	11,84
2 267,57	11,81
1 814,06	11,81
1 360,54	11,91
680,27	11,94
0,00	14,68

Fuente: elaboración propia, con base en resultados de ensayos.

Figura 19. **Deformación en milímetros en los bastidores (puntal A)**



Fuente: elaboración propia, en base a resultados de ensayos.

En el caso de este tipo de estantería metálica, la configuración del arriostramiento es en K, por lo que no es simétrico, y tendrá mayor deformación la parte del puntal que se encuentra retirada del empotramiento del rigidizante, como se muestra en la figura 23, con una deformación de 14,68 milímetros, ya que el puntal entra en torsión y en conjunto como bastidor por las fuerzas a compresión se da la esbeltez en los elementos verticales.

En los bastidores se da la esbeltez por las grandes alturas y la sección transversal del puntal, además hay que tomar en cuenta que los puntales al aplicar diferentes niveles de carga al sistema, ellos entran en torsión, generando así que el sistema se debilite.

Además un efecto provocado por la esbeltez, es el P delta, dicho efecto es el más común en los bastidores.

Figura 20. **Torsión en el puntal A**



Fuente: Centro de Investigaciones Ingeniería. Sección de estructuras.

#### **4.3. Descripción del ensayo de la muestra 3**

A diferencia de los ensayos anteriores, en este caso se aplicó carga horizontal en la parte lateral del larguero A, para la evaluación y análisis ante el comportamiento de fuerzas sísmicas de la estructura, con un intervalo de 100 kilogramos, para dicha carga se utilizó un gato hidráulico, en el caso de la carga vertical se utilizó el marco hidráulico del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), con un intervalo de 1 000 kilogramos; ambas cargas se aplicaron en los largueros del tercer nivel.

La unión bastidor-larguero para este tipo de estanterías metálicas, es un sistema en forma de grapas, es decir el puntal posee unas ranuras en las cuales van anclados los largueros, por medio de unos ganchos que posee dicho larguero.

Se armó la estantería dejando entre cada nivel de larguero, 1,00 metro de distancia. Se colocó la estantería de tal manera que los bastidores quedaran paralelos a la máquina universal hidráulica, mientras que los largueros quedaron en forma transversal a las vigas de aplicación de carga de dicha máquina.

Se colocó una tarima metálica en el segundo nivel de los largueros, justo en el centro para la distribución de la carga aplicada. En la parte lateral del larguero A, se colocó un gato hidráulico con el que se le aplicó carga, para simular las cargas laterales de sismo.

Para medir la deformación que sufrió la estantería al ser sometida a distintos niveles de carga, se utilizaron deformómetros, estos se colocaron tanto en los largueros como en los bastidores, específicamente en los puntales.

Para una mejor comprensión de la colocación de los deformómetros en la estantería, se detalla a continuación:

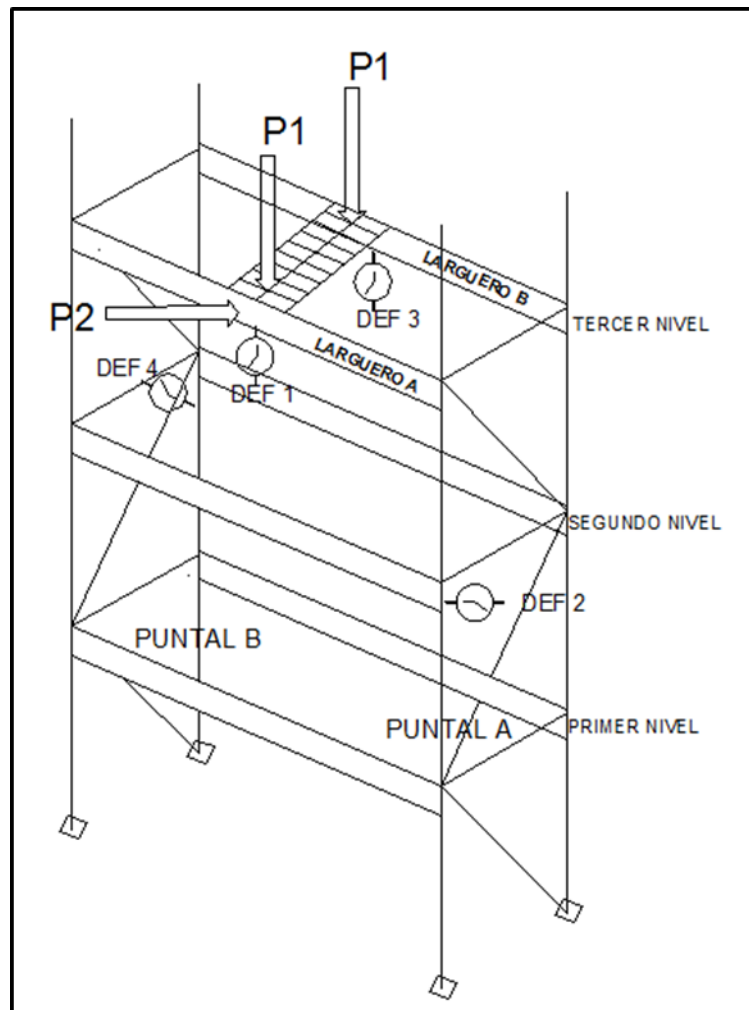
- Larguero A, en dicho larguero se colocó el deformómetro DEF 1.
- Larguero B, se colocó el deformómetro DEF 3.
- Puntal A, se colocó el deformómetro DEF 3.
- Puntal B, se colocó el deformómetro DEF 4.

La función de los deformómetros es la medición de la deflexión y torsión de los largueros, así como la deflexión que sufren los puntales en los bastidores. La función de cada deformómetro se detalla a continuación:

- DEF 1 y DEF 3, se midió la flexión en los largueros A y B.
- DEF 2 y DEF 4, se midió la deformación en los puntales A y B.

A continuación se muestra un esquema de la colocación de los deformómetros y la identificación de los elementos de la estantería para el análisis de los resultados.

Figura 21. **Ubicación de los deformómetros e identificación de los largueros y puntales**



Fuente: elaboración propia, con programa Auto Cad 2013.



#### 4.3.1. Resultado y análisis vertical de la estantería

Para el análisis de resultados de la carga vertical de la estantería metálicas de la muestra 3, se analizarán los 2 largueros del tercer nivel, en los cuales fue aplicada la carga.

Tabla VI. **Resultados generales de la muestra 3, carga en kilogramos y deformaciones en milímetros**

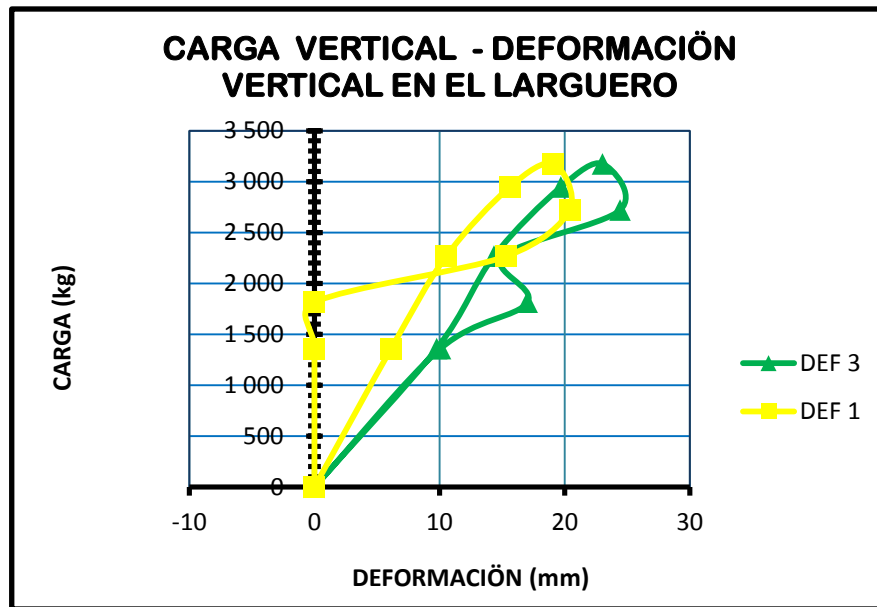
CARGA HORIZONTAL (Kg)	CARGA VERTICAL (Kg)	FLEXIÓN L		DEFORMACIÓN B	
		DEFORMACIÓN 1(mm)	DEFORMACIÓN 3(mm)	DEFORMACIÓN 2(mm)	DEFORMACIÓN 4(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	1360,54	6,13	9,78	6,00	0,84
101,59		6,15	9,65	6,00	0,94
	2267,57	10,54	14,35	6,57	0,96
101,59		10,55	14,22	6,58	1,17
	2947,85	15,62	19,71	6,58	1,17
253,97		15,62	19,61	6,50	2,35
	3174,60	19,10	23,04	6,48	2,28
304,76		19,18	22,83	6,48	2,53
0,00		19,00	22,94	6,42	2,35
	2721,09	20,40	24,43	6,42	2,37
	2267,57	15,34	15,09	6,42	2,37
	1814,06	0,00	17,02	0,00	2,36
	1360,54	0,00	10,08	0,00	2,34
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78

Fuente: elaboración propia, con base en resultados de ensayos.

#### 4.3.1.1. Flexión en el larguero

Se analizaron los resultados obtenidos de la carga aplicada en los largueros, para medir la deflexión que se presentó en estos, durante el ensayo para un mejor estudio y comprensión de las estanterías.

Figura 22. Flexión en los largueros A y B



Fuente: elaboración propia, con base en resultados de ensayos.

La carga de diseño para este tipo de estantería metálica, se encuentra en el orden de 1 300 kilogramos. La deformación en dicha carga para el larguero A, es de 6,13 milímetros y en el caso del larguero B, presenta una deformación de 9,78 milímetros. En la carga máxima de 3 174 kilogramos, presentaron una deformación de 19,10 milímetros para el larguero A y para el larguero B una deformación de 23,4 milímetros.

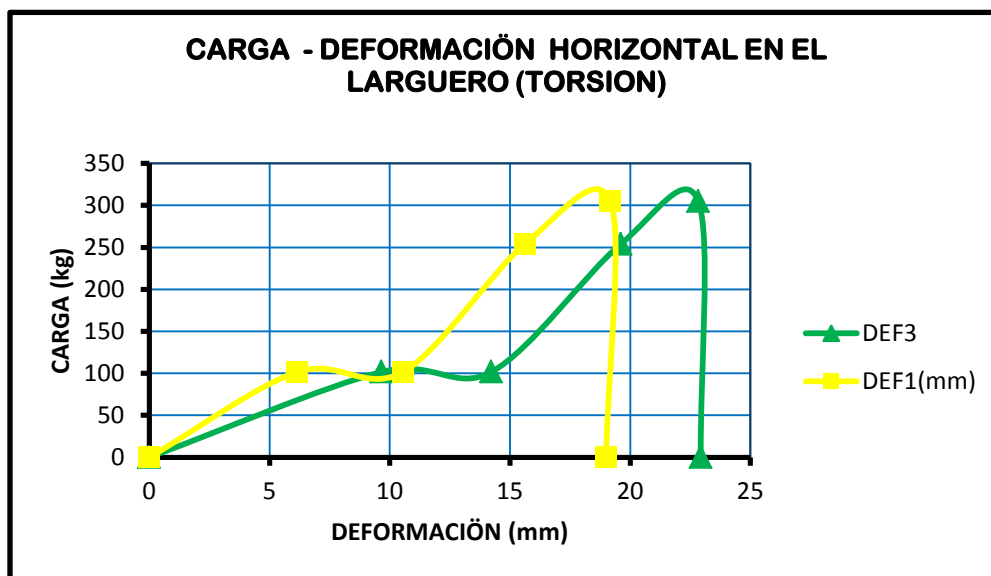
En el caso del larguero B, tuvo mayor deformación, ya que dicho larguero tiene mayor libertad de giro, puesto que no tiene rigidizante.

En el proceso de carga y descarga, los largueros se flexionaron, pero fueron capaces de recuperarse ante la carga aplicada, llegando a 0 milímetros de deformación para ambos larguero en la descarga.

#### 4.3.1.2. Torsión en el larguero

Se analizaron los resultados obtenidos de la carga aplicada en los largueros, para medir la torsión que se presentó en dichos largueros durante los ensayos.

Figura 23. Torsión en los largueros A y B



Fuente: elaboración propia, con base en resultados de ensayos.

Ante una fuerza horizontal, el larguero que no esté rigidizado tendrá mayor deformación, ya que no tendrá la ayuda del elemento que restrinja el giro. En este caso, el larguero A tuvo una deformación permanente de 19,10 milímetros en la descarga y el larguero B presentó una deformación de 22,94 milímetros.

En la carga máxima de 304,76 kilogramos presentaron una deformación de 19,18 milímetros y 22,83 milímetros respectivamente. La carga en la cual los 2 largueros trabajaron en el rango elástico, es de 101 kilogramos.

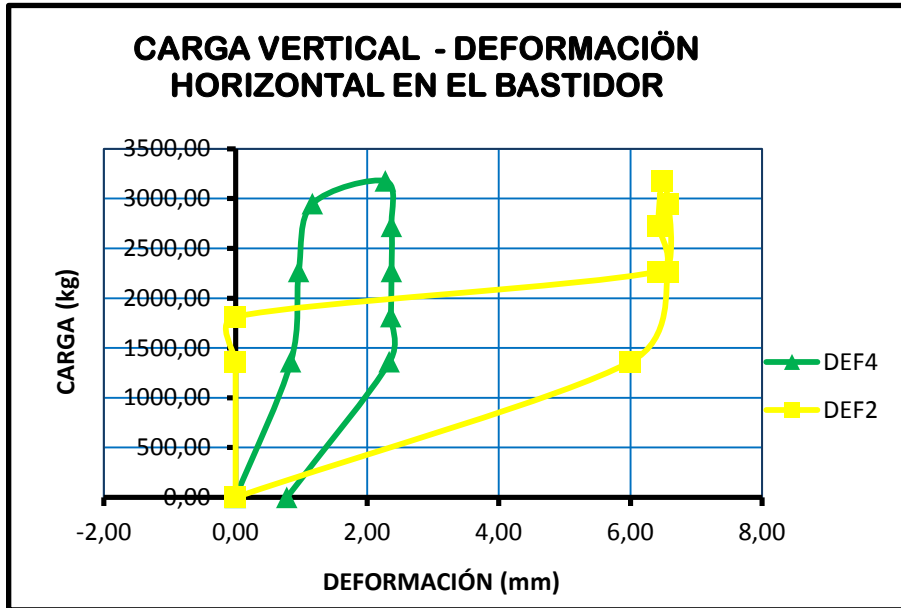
#### **4.3.2. Resultado y análisis horizontal de la estantería**

Se presentan los resultados del ensayo y cómo afecta la carga aplicada al bastidor, los resultados serán analizados para una posterior recomendación y uso correcto del mismo.

##### **4.3.2.1. Comportamiento del bastidor**

Una fuerza que no se debe olvidar, es la fuerza lateral como la de los sismos, por esta razón se analiza el bastidor y el larguero, para prevenir colapsos por falta de información para dichas fuerzas.

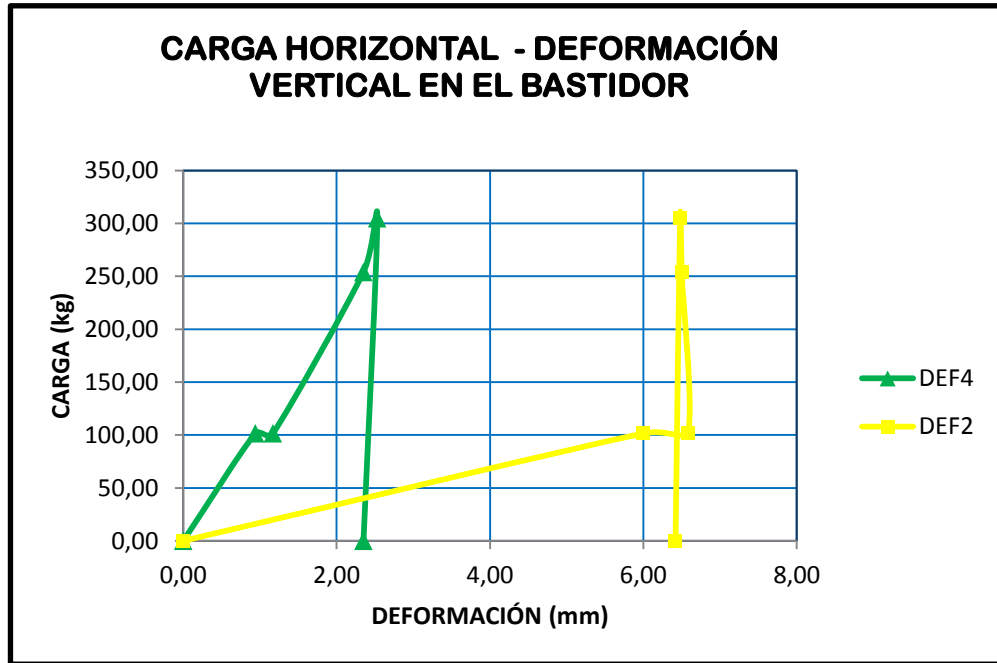
Figura 24. Deformación del puntal A y B



Fuente: elaboración propia, con base en resultados de ensayos.

Para el caso de la carga vertical, los bastidores en la descarga presentaron una deformación de 0,78 milímetros y 0 milímetros para el puntal B y para el puntal A respectivamente. Teniendo giros para el acomodo de los esfuerzos, pero fueron capaces de recuperarse y no tener mayor deformación permanente.

Figura 25. Deformación del puntal A y B



Fuente: elaboración propia, con base en resultados de ensayos.

El puntal A tuvo mayor deformación que el puntal B, con una deformación permanente de 6,42 milímetros y 2,35 milímetros respectivamente, la diferencia de deformación se debe a que el deformómetro 2, se colocó en el puntal B, dicho deformómetro se encuentra cerca de una unión de arriostra, por ende, dicha riostra le da la rigidez necesaria para que el puntal no tenga tanto movimiento, caso contrario del deformómetro 2 que se colocó en el puntal A. Como se observa en el esquema.

#### 4.4. Descripción del ensayo de la muestra 4

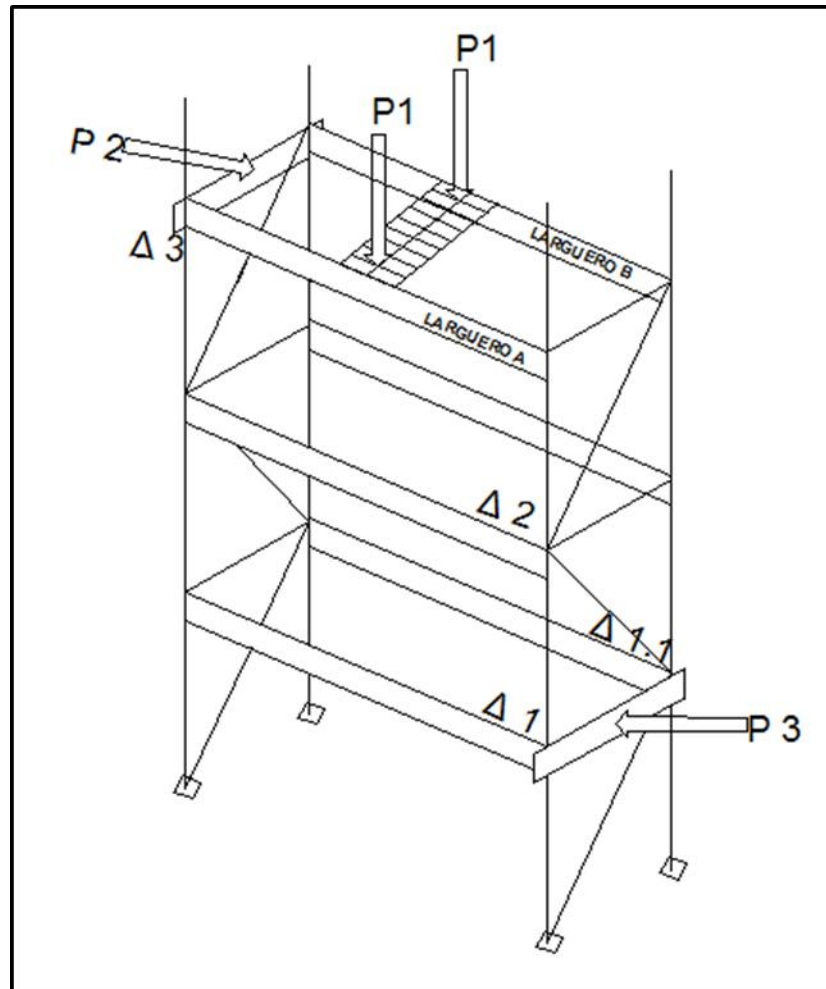
En este ensayo las fuerzas horizontales fueron aplicadas a cada uno de los bastidores a diferentes alturas, la carga 3 se aplicó a 1,05 metros y la carga

2 se aplicó a 3,15 metros, ambas cargas se referenciaron a partir del nivel del piso. Para las cargas horizontales se utilizaron gatos hidráulicos y para la carga vertical, el marco del Centro de Investigaciones de Ingeniería, además de aplicarle carga vertical en los largueros del tercer nivel.

Las cargas horizontales tienen un intervalo de 100 kilogramos y las verticales de 1 000 kilogramos. La unión de grapa en el bastidor larguero, es característica de dicha estantería. Para la realización del ensayo, se armó la estantería dejando entre cada nivel de larguero 1,05 metros de distancia, se dejaron 3 niveles de largueros. Se colocó la estantería de tal manera que los bastidores quedaron transversales al marco de carga, mientras que los largueros están paralelos a las vigas de dicho marco. Se colocó la tarima de madera en el tercer nivel de los largueros, justo en el centro.

Para medir las deformaciones en los bastidores, se utilizaron cintas métricas y un elemento recto para poder comparar la deformación que se había presentado en los puntales.

Figura 26. **Ubicación de cargas y medidas de deformación**



Fuente: elaboración propia, con programa Auto Cad 2013.

#### 4.4.1. **Resultados, análisis vertical y horizontal de la estantería**

Se realiza un análisis del comportamiento de la estantería metálica, aplicando carga vertical y horizontal en forma simultánea, las deformaciones



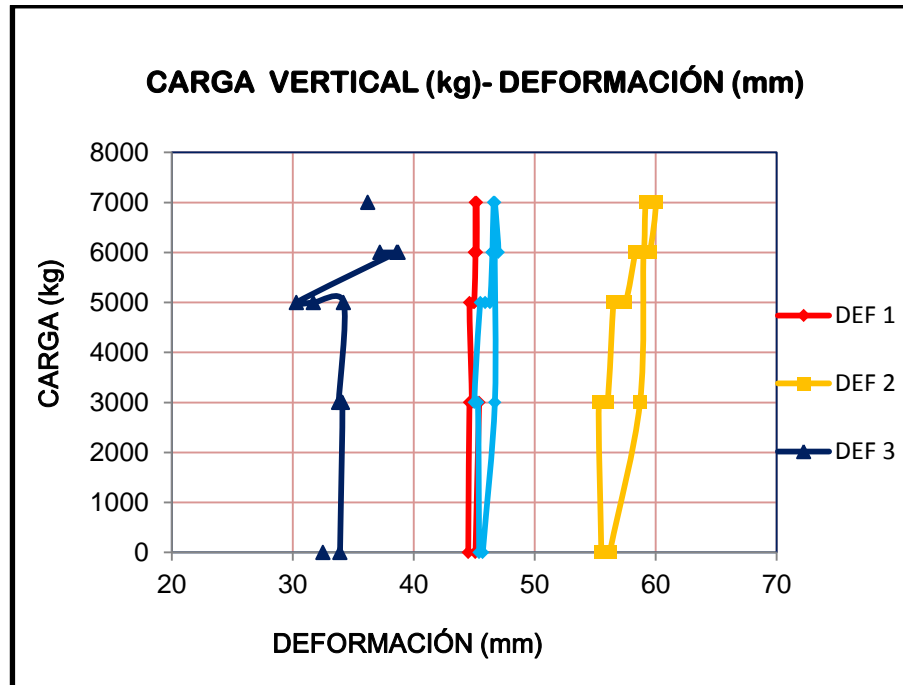
fueron medidas en los movimientos que tuvieron los bastidores a la hora de la aplicación de ambas cargas.

**Tabla VII. Resultados generales de la muestra 4, carga en kilogramos y deformaciones en milímetros**

CARGA VERTICAL Kg	DEFORMACIÓN 1 (mm)	DEFORMACIÓN 2 (mm)	DEFORMACIÓN 3(mm)	DEFORMACIÓN 1.1(mm)
0,00	44,50	55,50	33,90	45,40
3 000,00	44,60	55,30	34,10	45,30
3 000,00	44,80	56,00	33,80	45,00
5 000,00	44,60	56,50	34,20	45,50
5 000,00	44,90	56,70	31,70	45,90
5 000,00	45,00	57,50	30,30	46,30
6 000,00	45,10	58,30	38,60	46,50
6 000,00	45,00	58,30	38,70	46,50
6 000,00	45,10	59,00	37,20	46,50
7 000,00	45,10	59,20		46,60
7 000,00	45,20	60,00	36,20	46,70
6 000,00	45,20	59,50		47,00
6 000,00		59,00		46,70
3 000,00	45,40	58,70		46,70
0,00	45,10	56,20	32,50	45,70

Fuente: elaboración propia, con base en resultados de ensayos.

Figura 27. Deformación del sistema con carga vertical aplicada



Fuente: elaboración propia, con base en resultados de ensayos.

Con la aplicación de la carga vertical, las deformaciones permanentes después de la descarga de los largueros del nivel uno, medidos de abajo hacia arriba, se mantuvieron en 45,10 milímetros, para la deformación 1 y para la deformación 1.1 en 45,70 milímetros, el nivel que menos se deformó fue el tercer nivel de largueros con 32,50 milímetros, el nivel de larguero que mayor deformación presentó, fue el nivel 2 con 56,20 milímetros de deformación.

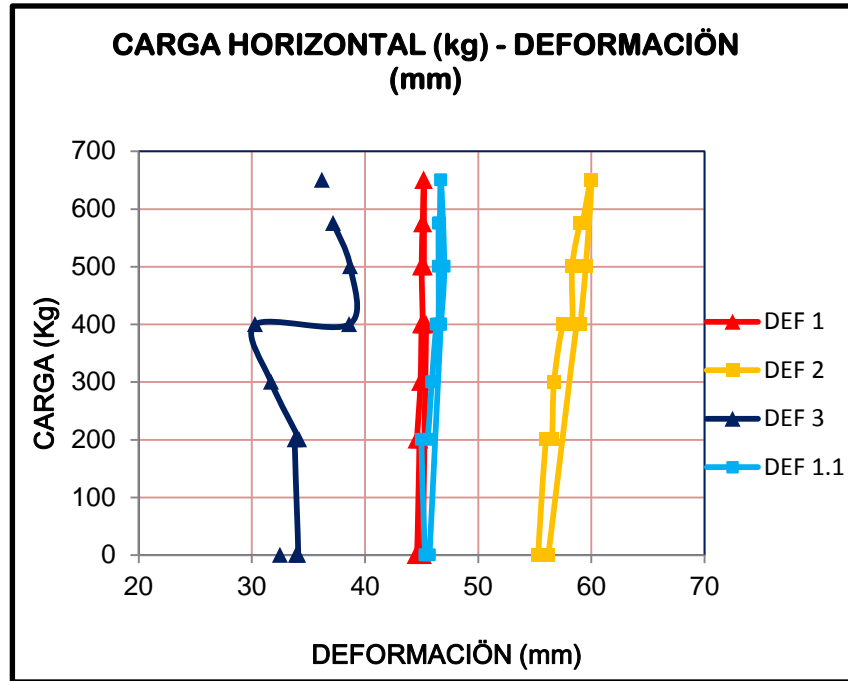
Esto se debe a que hubo influencia en la carga horizontal, ya que como se mencionó anteriormente, las cargas tanto horizontal como vertical fueron aplicadas en forma simultánea. La máxima carga aplicada en forma vertical fue de 7 000 kilogramos, pero la carga en la cual el sistema trabajó en el rango elástico fue de 5 000 kilogramos.

**Tabla VIII. Resultados generales de la muestra 3, carga en kilogramos y deformaciones en milímetros**

CARGA HOR Kg	DEFORMACIÓN 1 (mm)	DEFORMACIÓN 2 (mm)	DEFORMACIÓN 3(mm)	DEFORMACIÓN 1.1 (mm)
0,00	44,50	55,50	33,90	45,40
0,00	44,60	55,30	34,10	45,30
200,00	44,80	56,00	33,80	45,00
200,00	44,60	56,50	34,20	45,50
300,00	44,90	56,70	31,70	45,90
400,00	45,00	57,50	30,30	46,30
400,00	45,10	58,30	38,60	46,50
500,00	45,00	58,30	38,70	46,50
575,00	45,10	59,00	37,20	46,50
575,00	45,10	59,20		46,60
650,00	45,20	60,00	36,20	46,70
500,00	45,20	59,50		47,00
400,00		59,00		46,70
400,00	45,40	58,70		46,70
0,00	45,10	56,20	32,50	45,70

Fuente: elaboración propia, con base en resultados de ensayos.

Figura 28. Deformación del sistema con carga horizontal aplicada



Fuente: elaboración propia, con base en resultados de ensayos.

La máxima carga horizontal fue de 650 kilogramos, presentado deformación de 45,20 milímetros para  $\Delta 1$ , para el  $\Delta 1.1$  la deformación fue de 46,70 milímetros, para el  $\Delta 3$  la deformación es de 36,20, mientras que para el  $\Delta 2$  presenta la mayor deformación con 60,00 milímetros.

Como se puede observar, tanto en las figuras 34 y 35 el nivel con mayor deformación fue el segundo, ya que las fuerzas horizontales se aplicaron en el tercer nivel con dirección positiva, mientras que la fuerza horizontal del primero con dirección negativa, esto provocó que la estantería se deformará de tal manera que el segundo nivel sufrió la torsión del sistema. Lo que significa que la estantería tendría volcamiento ante un movimiento telúrico de magnitud considerable.

#### 4.5. Análisis del sistema sismorresistente en estanterías paletizadas convencionales (marco rígido y marco arriostrado)

Para realizar el análisis, se identifican 2 direcciones: longitudinal y transversal. La dirección transversal es en la que comúnmente se llama bastidor y trabaja como marco arriostrado, mientras que la longitudinal corresponde al sentido del pasillo, que se compone de los puntales del bastidor y los largueros, por lo tanto su comportamiento es como marco rígido.

Figura 29. Sentido longitudinal y transversal de la estantería metálica



Fuente: Catálogo Mecalux. Argentina. p. 38.

##### 4.5.1. Análisis en el marco arriostrado en el sentido transversal

El dispositivo antisísmico transversal de la estantería con reforzamiento, son los bastidores, aquellas estructuras de marco, compuestas por puntales

vinculadas por diagonales (marco arriostrado) y que es común para todos los proveedores de estanterías metálicas industriales. A dichos bastidores se les realizan análisis de esbeltez, ya que son susceptibles a sufrir pandeos por las alturas para las que son diseñadas dichas estanterías, además para el sentido transversal de marco se hace análisis de la rigidez de la misma.

#### **4.5.1.1. Esbeltez en los bastidores**

Los bastidores en las estructuras metálicas, son marcos que son frecuentemente muy esbeltos y están sometidos a esfuerzos de compresión, por ende tienden a pandearse. El pandeo es una deflexión lateral repentina, perpendicular a la dirección de la compresión, si la deformación en el bastidor que se flexiona es muy grande, se produce el efecto P-delta, dicho efecto precipita al bastidor a sufrir una falla por pandeo.

Para la rigidez a flexión del bastidor, se debe tomar en cuenta la resistencia de unos de sus principales componentes, como lo es el puntal, ya que este tiene influencia sobre la reducción de resistencia por esbeltez, mientras más rígido sea el puntal, son menores sus deflexiones, dicha rigidez depende de la sección transversal del puntal y de su longitud, ya que se relaciona la longitud del puntal y el radio de giro de la sección transversal del mismo.

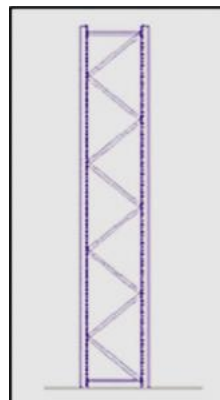
#### **4.5.1.2. Rigidez en los bastidores**

Los elementos de arriostramiento le proporcionan a la estructura, una mayor rigidez y resistencia, ante las cargas laterales como las fuerzas sísmicas, es por ello que entre mayor altura tenga el bastidor, mayor será la necesidad de utilizar los arriostramientos, para la estabilidad del mismo. Los arriostramientos

utilizados en los bastidores, son diagonales concéntricas solicitados principalmente por la carga axial.

Las zonas de disipación de energía, están representadas principalmente en la riostras, pero asume que las diagonales a compresión se pandean. Por ello se deben de utilizar bastidores con riostras a tensión. Existen varias configuraciones para los arriostramientos, por ejemplo: las riostras simples y los arriostramientos en X, V, V invertida y en K; aunque este último es restringido por algunas normativas de diseño, es el más utilizado en las estancias metálicas.

Figura 30. **Configuración de riostras en K**



Fuente: catálogo Mecalux. Argentina p. 38.

#### **4.5.2. Análisis en el marco no arriostrado en el sentido longitudinal**

En el sentido longitudinal, se pueden establecer 2 diferencias: marcos rígidos o arriostrados, los cuales son sistemas estructurales muy distintos que

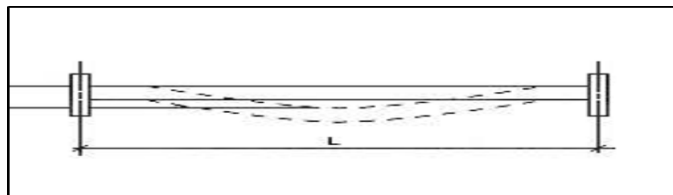
son agrupados como un todo por normativas sísmicas bajo el concepto de estanterías metálicas de almacenamiento.

#### 4.5.2.1. Flexo torsión en los largueros

En el caso de los largueros, estos deben ser diseñados para la carga a almacenar, además de ir acompañados de una rigidez suficiente para que la flecha máxima de los largueros al colocar la carga, se encuentre en el rango de  $1/200$  de la distancia entre apoyos contiguos. Ya que uno de los principales problemas de los largueros, es la combinación de la flexión con la torsión, denominándose efecto de flexo torsión.

Otro factor importante, es porque los largueros usualmente no son perfiles tubulares, sino un par de perfiles tipo C unidos por soldaduras, dichos perfiles son secciones abiertas de espesor delgado y son muy susceptibles a fallas locales.

Figura 31. Deformación en el larguero



Fuente Almacenamiento en estanterías y estructuras. España.

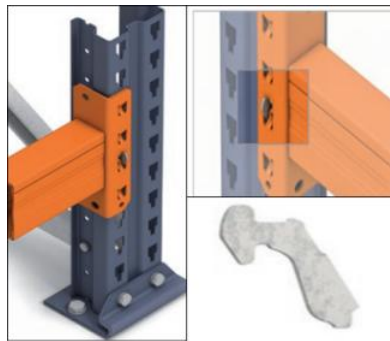
#### 4.5.3. Análisis en la conexión bastidor larguero

Es importante que la unión bastidor-larguero sea rígida, es decir su capacidad debe ser igual a los elementos que conecta para que no limite a



alguno de ellos, también deben de garantizar su comportamiento en condiciones de carga y descarga además de la acción sísmica máxima. Los ensayos de uniones son igualmente necesarios para asegurar al sistema sismorresistente, la correcta transmisión de esfuerzos.

Figura 32. **Sistema de unión larguero bastidor**



Fuente: Catalogo Mecalux. México. p 18.

#### **4.5.4. Análisis al sistema como conjunto (marco rígido marco arriostrado)**

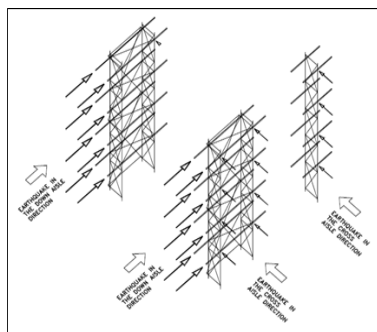
El sistema combinado marcos bastidor-larguero, es un sistema estructural en el cual las cargas verticales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, las fuerzas horizontales son resistidas por pórticos con diagonales.

Es importante tomar en cuenta la simetría, tanto de la estructura como de las cargas, ya que a la hora de un sismo se pueden presentar problemas de torsión en el sistema y con ellos provocar el colapso del mismo. Un ejemplo claro de la simetría de la estructura, es que en los bastidores se disminuye la

capacidad de carga cuando se aumenta la separación entre niveles de largueros.

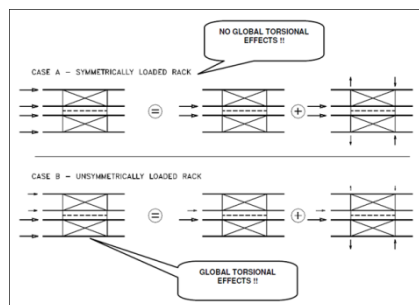
Por lo tanto la rigidez y la estabilidad de la estantería, dependen no solo de la dimensiones y de las características del acero que se use para la fabricación de la misma, sino también de la medida de ancho del bastidor y de su anclaje al suelo. Para poder tener conocimiento de la capacidad de carga de ambos componentes, bastidores y largueros.

Figura 33. **Fuerzas horizontales en el sistema**



Fuente: CASTIGLIONI. Seismic behavior of steel storage pallet.

Figura 34. **Torsión en el sistema**



Fuente: CASTIGLIONI. Seismic behavior of steel storage pallet.



## **5. ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL Y CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE LA ESTANTERÍA METÁLICA INDUSTRIAL PALETIZADA CONVENCIONAL**

Para el correcto manejo y diseño de las estanterías, es importante tomar en cuenta las siguientes consideraciones.

### **5.1. Comparación entre los enfoques de diseño**

Se realiza una breve comparación entre los enfoques de diseño por resistencia y por desempeño. El diseño basado en la resistencia, lo utiliza la mayoría de normas y códigos actuales, para dicho enfoque, el objetivo principal; es que las estructuras sean capaces de resistir sismos de baja intensidad sin sufrir daños significativos, sismos moderados con daños reparables y sismos de mayor intensidad sin que se produzca el colapso.

En el caso de diseño por desempeño, el cual tiene el mismo concepto de preservar la vida humana, a diferencia del diseño por resistencia que plantea un comportamiento no lineal de las edificaciones y admite un daño en el que se busca controlar, el comportamiento de las estructuras para cualquier otro movimiento que se presente, en otras palabras, el diseño por desempeño busca concebir edificaciones diseñadas para ser capaces de exhibir comportamientos predecibles, al ser afectadas por diferentes niveles de sismo.

### 5.1.1. Enfoque por resistencia

El método de diseño por resistencia, requiere que la resistencia de diseño de un elemento sea mayor o igual que la resistencia requerida, calculada mediante las combinaciones de cargas mayoradas especificadas en los códigos.

$$\text{Resistencia de diseño} \geq \text{resistencia requerida (U)}$$

Donde:

Resistencia de diseño = factor de reducción de la resistencia ( $\phi$ ) × resistencia nominal

$\phi$  = Factor de reducción de resistencia

Donde:

Resistencia requerida (U) = factores de carga × cargas de servicio. La resistencia requerida se calcula de acuerdo a las combinaciones de cargas indicadas.

El enfoque de diseño por resistencia, utiliza 2 métodos de diseño, tanto para concreto armado como para acero, dichos métodos son los utilizados con mayor frecuencia en la actualidad, los cuales se mencionan a continuación:

- Método de diseño por esfuerzos admisible (ASD).
- Método de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD).

### 5.1.1.1. Métodos de esfuerzos admisibles (ASD)

En este método de diseño, las cargas se servicio no son mayoradas, en otras palabras no son alteradas por factores de carga, sino que son utilizadas en forma directa. Las combinaciones de carga que aquí se presentan, fueron tomadas de la Norma Técnica Colombiana 5 689 en el numeral 2,1, para lo cual se deben considerar como:

Para todos los componentes de la estantería:

DL

DL + LL + (SL o RL) + PL

DL – (WL o EL) + PL<sub>app</sub>

DL + LL + 0,5(SL o RL) + (WL o EL) + PL

Donde:

DL = Carga muerta

LL = Carga viva distinta a la de las estibas o productos almacenados en la estantería (por ejemplo, cargas de piso de las plataformas de trabajo)

SL = carga de granizo

RL = carga de lluvia

WL = carga de viento

EL = carga sísmica

Imp = carga de impacto en un entrepaño

PL = máxima carga de estibas o productos almacenados en la estantería

P<sub>Lapp</sub> = carga de estibas o de producto almacenado que debe estar presente para que se desarrollen las fuerzas de sismo o de viento calculadas, según el caso.

### 5.1.1.2. Método de diseño por factor de cargas y resistencia (LRFD)

A diferencia del método de esfuerzos admisibles, este método utiliza factores que alteran las cargas con las cuales se diseñarán. Las combinaciones de carga que aquí se presentan, fueron tomadas de la Norma Técnica Colombiana 5 689 en el numeral 2,2, para lo cual se deben considerar como:

$$1,4 DL + LL + 1,2 PL$$

$$1,2 DL + 1,6 LL + 0,5(SL \text{ o } RL) + 1,4 PL$$

$$1,2 DL + 1,6(SL \text{ o } RL) + (0,5 LL \text{ ó } 0,8 WL) + 0,85 PL$$

$$1,2 DL + 1,3 WL + 0,5 LL + 0,5(SL \text{ o } RL) + 0,85 PL$$

$$1,2 DL + 1,5 EL + 0,5 LL + 0,2 SL + 0,85 PL$$

$$0,9 DL - (1,3 WL \text{ ó } 1,5 EL) + 0,9 PL_{app}$$

Donde:

DL = carga muerta

LL = carga viva distinta a la de las estibas o productos almacenados en la estantería (por ejemplo, cargas de piso de las plataformas de trabajo)

SL = carga de granizo

RL = carga de lluvia

WL = carga de viento

EL = carga sísmica

Imp = carga de impacto en un entrepaño

PL = máxima carga de estibas o productos almacenados en la estantería

$P_{Lapp}$  = carga de estibas o de producto almacenado que debe estar presente para que se desarrollen las fuerzas de sismo o de viento calculadas, según el caso.

### **5.1.2. Enfoque por desempeño**

Para el diseño por desempeño al igual que el de resistencia, es importante preservar la vida de las personas ante un sismo, es por ello que está enfocado en estudiar de una manera más clara el comportamiento de una estructura, además de controlarla ante diferentes intensidades sísmicas. El diseño por desempeño tiene 3 fases para su realización, en la cual se encuentran: la fase conceptual, la fase numérica y evaluación, por último la fase de implementación.

En la fase conceptual; se consideran los niveles de desempeño y amenazas esperadas para la edificación, la fase numérica y de evaluación, se realiza el análisis de la estructura por diferentes métodos que pueden ser lineales equivalentes o no lineales. La última fase que es la de implementación, en la cual se realizan los ajustes a la estructura para cumplir con los requisitos del diseño.

En el diseño por desempeño se deben considerar las características sísmicas del terreno, el diseño preliminar, diseño final, además de las revisiones del diseño; sin olvidar el control de calidad durante la construcción y el mantenimiento durante la vida de la estructura.

Existen 2 métodos de diseño utilizados en los enfoques de diseño por desempeño los cuales son:

- Método de diseño de fuerzas
- Método de diseño por desplazamientos



### 5.1.2.1. Método de fuerzas

Para el método de diseño de las fuerzas, se consideran 4 tipos de cargas, las cuales son: carga muerta (DL), carga de producto a almacenar (PL), carga viva (LL) y carga sísmica. Dicho método de diseño es el equivalente al método de diseño de las fuerzas horizontales recomendado por el Instituto de Fabricantes de Rack.

En la carga muerta (DL), se considera el peso de todo el marco, más accesorios de la estantería. Para la determinación de dicha carga, se utiliza un 5 por ciento de la carga del producto a almacenar.

En el caso de las cargas vivas (LL), se considera según el Instituto de Fabricantes Rack para las estanterías de uso normal con 296 kilogramos por metro cuadrado.

La cargas del producto a almacenar (PL), dependerá del peso y del tipo de producto que se quiera colocar en la estantería.

La carga sísmica se considera según el lugar donde se colocará el almacén o bodega.

A continuación se realizan los cálculos para el diseño por el método de las fuerzas.

- Cálculo del Corte Basal

$$V= C_s * I_p * W_s$$

Donde:

$C_s$  = coeficiente de respuesta sísmica

$I_p$  = nivel de importancia de la estructura. Varía entre 1 a 1,5

$I_p = 1,0$  para otras estructuras

$I_p = 1,5$  si el sistema contiene material que represente una amenaza en caso de soltarse o en el caso de áreas abiertas al público

$W_s$  = es el peso sísmico efectivo, que es función de la relación entre la carga promedio y la carga máxima del entrepaño y de las cargas vivas y muertas que lleva la estructura.

$$V = 0,07 * 1,5 * 8\ 077,5 = 848,14 \text{ kg}$$

- Cálculo del coeficiente de respuesta sísmica  $C_s$

Para el cálculo del período fundamental de la estantería, el coeficiente de respuesta sísmica,  $C_s$  se debe determinar de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$C_s = \frac{1,2 * C_v}{R * T^2}$$

Donde:

$C_v$  = el coeficiente sísmico basado en el tipo de perfil de suelo y en el valor del coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva  $A_v$ .

$R$  = para estanterías de más de 2,44 metros (8 pies) de altura,  $R = 4,0$  en la dirección arriostrada y  $R = 6,0$  en la dirección no arriostrada.

$T$  = el período fundamental de la estantería en cada dirección considerada.

Se realizará el cálculo para la dirección no arriostrada de la estantería.  
Para efectos de ejemplo se tomará una  $A_v=0,40$  (Ver tabla)

$$C_s = \frac{1,2 \cdot 0,32}{4 \cdot 1,5^2} = 0,07$$

Alternativamente, el coeficiente de respuesta sísmica no debe ser mayor que el siguiente valor:

$$C_s = \frac{2,5 \cdot C_a}{R}$$

R = para estanterías de más de 2,44 metros (8 pies) de altura, R = 4,0 en la dirección arriostrada y R = 6,0 en la dirección no arriostrada.

$C_a$  = coeficiente sísmico basado en el tipo de perfil de suelo y en el valor del coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva  $A_a$ .

$$C_s = \frac{2,5 \cdot 0,32}{4} = 0,20$$

$$0,07 < 0,20$$

- Cálculo del peso sísmico efectivo  $W_s$

Está determinado por la fórmula:

$$W_s = 0,67 \cdot X_{LFR} \cdot X_{PL} + DL + 0,25 \cdot X_{LL}$$

$$W_s = 0,67 \cdot 0,75 \cdot 5\,400 \text{ kg} + 2\,700 \text{ kg} + 0,25 \cdot 2\,264 \text{ kg} = 8\,077,5 \text{ kg}$$

- Distribución vertical de las cargas de sismos

La fuerza sísmica horizontal  $F_x$  que se aplica en cada nivel se debe determinar a partir de las siguientes ecuaciones:

Si la línea media del entrepaño del primer nivel, está a 30,5 centímetros (12 pulgadas) o menos por encima del nivel de piso:

$$F_1 = C_s \cdot I_p \cdot W_1 \quad \text{Para el entrepaño del primer nivel}$$

$$F_1 = (0,07 \cdot 1,5 \cdot 2\,026,5) = 212,78 \text{ kg}$$

$$F_x = \frac{V - F_1}{\sum_{i=2}^n W_i h_i^k} \cdot W_x h_x^k \quad \text{Para los niveles por encima del primero}$$

$$F_2 = \frac{848,14 - 212,78}{8\,077,5 \cdot 4,5} \cdot 2\,026,5 \cdot 1,5 = 53,13 \text{ kg}$$

$$F_3 = \frac{848,14 - 212,78}{8\,077,5 \cdot 6} \cdot 2\,026,5 \cdot 1,5 = 39,85 \text{ kg}$$

- Cálculo del peso sísmico efectivo  $W_s$ , para los distintos niveles de la estantería metálica.

$$W_x = 0,67 \cdot 0,75 \cdot 1\,800 \text{ kg} + 900 \text{ kg} + 0,25 \cdot 888 \text{ kg} = 1\,248,5 \text{ kg}$$

$$W_1 = 0,67 \cdot 0,75 \cdot 5\,400 \text{ kg} + 2\,700 \text{ kg} + 0,25 \cdot 2\,664 \text{ kg} = 3\,649,5 \text{ kg}$$

Donde:

$V$  = carga horizontal total de diseño o cortante en la base de la estantería

$W_i$  ó  $W_x$  = la porción de la carga total de gravedad de la estantería, aplicada en cada nivel  $i$  o  $x$ ,  $h_i$  o  $h_x$  = la altura de la base a cada nivel  $i$  o  $x$ .

$k$  = un exponente que depende del periodo fundamental  $T$  de la estructura.

$T \leq 0,5$   $k = 1$

$T \geq 2,5$   $k = 2$

Para estantería con períodos entre 0,5 segundos y 2,5 segundos,  $k$  se debe tomar igual a 2,0 o se debe determinar por interpolación lineal entre 1,0 y 2,0. Cuando el cortante en la base se calcule usando la expresión del límite superior para  $C_s$ ,  $k$  debe tomar como 1,0.

- Distribución horizontal de la fuerza cortante

El cortante sísmico de diseño en cualquier nivel,  $V_x$ , se obtendrá a partir de la siguiente ecuación:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i$$

Donde:

$F_i$  = porción del cortante sísmico en la base,  $V$ , inducida en el nivel  $i$ .

$$V_3 = (39,85+53,13+212,78) = 305,76 \text{ kg}$$

$$V_2 = (53,13+212,78) = 265,91 \text{ kg}$$

$$V_1 = (212,78) = 212,78 \text{ kg}$$

#### **5.1.2.2. Método de desplazamiento directo**

En este método, el diseño consiste en fijar un desplazamiento máximo ( $\Delta_d$ ), en vez de un desplazamiento límite. En este procedimiento los esfuerzos y la rigidez de los diferentes elementos no intervienen, puesto que se obtienen al final. Una de las ventajas de dicho método, es que permite fijar desde el principio del diseño, el desplazamiento de la estructura, permitiendo de esta forma tener un control del daño que esta pudiera tener, dependiendo de la intensidad del sismo. Por esta razón se considera como el método más acorde para el diseño por desempeño.

Algunas de las desventajas de este método, radican en las simplificaciones consideradas en el ajuste al espectro de desplazamientos para diseño, considerando la respuesta inelástica de la estructura y el nivel de amortiguamiento de esta.

A continuación se realizan los cálculos para el diseño por el método de desplazamiento.

- Cálculo del corte basal

Se supone una rigidez secante equivalente de la estructura  $k_e$  y se encuentra el cortante sísmico de diseño en la base de la estructura  $V_b$  para ser aplicado en el diseño. Por cuestiones de ejemplo solo se obtendrá el cortante basal para poder realizar la comparación de las fuerzas, con el método de las fuerzas.

$$V_b = k_e \cdot \Delta d$$

Donde:

$V_b$  = corte basal

$K_e$  = secante equivalente

$\Delta d$  = desplazamiento máximo

$$V_b = 14\,454,01 \cdot 0,06 = 867,24 \text{ kg}$$

- Cálculo de la deriva máxima

La deriva máxima evaluada en cualquier punto de la estructura, se empieza como un porcentaje de la altura de piso  $h_{pi}$ .

- Cálculo de la secante equivalente

La rigidez  $K_e$  para el desplazamiento máximo se calcula con la siguiente ecuación:

$$k_e = \frac{4\pi^2 \cdot m_e}{T_e^2}$$

Donde:

$\pi$  = constante Pi (3,1416)

$m_e$  = masa equivalente de la estructura, generalmente es el 70% de la masa total de la estructura

$T_e$  = período equivalente

$$k_e = \frac{4\pi^2 * 823,78}{1,5^2} = 14\,454,01 \text{ kg m /s}^2$$

- Cálculo de la masa equivalente

Para el cálculo de la masa equivalente, se tomará el 75 por ciento del total de la masa de la estructura.

$$m = \frac{w}{g}$$

Donde:

w= peso total de la estructura, ya que (1 kgf = 1 kgm 9,81 m/s<sup>2</sup>)

g= gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>).

$$w = (5\,400 \text{ kgf} + 2\,700 \text{ kgf} + 2\,664 \text{ kgf}) = 10\,764 \text{ kgf}$$

$$m = \frac{10\,764}{9,8} = 1\,098,37 \text{ kgm}$$

$$m = (1\,098,37 * 75\%) = 823,78 \text{ kgm}$$

- Período equivalente

Por cuestiones de ejemplo y comparación, se tomará como 1,5 segundos como en el método de las fuerzas.

- Cálculo de la distribución de fuerzas



La diferencia entre la distribución de fuerzas para el método de desplazamiento directo con el método basado en las fuerzas, es que se usa un perfil de desplazamiento inelástico de diseño.

$$F_i = \frac{V_{\text{base}} m_i \Delta_i}{\sum_{i=1}^n m_i \Delta_i}$$

Donde:

$$F_1 = \frac{867,24 \cdot 366,12 \cdot 0,015}{\sum_{i=1}^n 1 \cdot 098,37 \cdot 0,06} = 72,27 \text{ kg}$$

$$F_2 = \frac{867,24 \cdot 366,12 \cdot 0,03}{\sum_{i=1}^n 1 \cdot 098,37 \cdot 0,06} = 144,54 \text{ kg}$$

$$F_3 = \frac{867,24 \cdot 366,12 \cdot 0,06}{\sum_{i=1}^n 1 \cdot 098,37 \cdot 0,06} = 289,08 \text{ kg}$$

### 5.1.2.3. Comparación entre el diseño de fuerza con el de desplazamiento

El procedimiento de diseño por desplazamientos, se ha desarrollado con el objetivo de sufragar las deficiencias del diseño basado en fuerzas que aparece en la mayoría de normativas sísmicas.

En los cálculos anteriores, se determinó el corte basal para cada método, con el objetivo de comparar las cantidades, y señalar cuál de los 2 métodos es más conservador para el diseño de las estanterías metálicas.

El corte basal para el método de fuerzas, fue de 848,41 kilogramos, mientras que para el método de desplazamiento directo fue de 867,24 kilogramos, siendo el método de desplazamiento el más conservador. Y que la deformación es de suma importancia, debido a la forma y morfología del sistema analizado, puesto que al hacer la comparación de resultados no son significativas las diferencias.

Por las características del trabajo de investigación, por ejemplo se toma el criterio de la máxima deriva y en función de ello se realizó la deformación de las fuerzas resistentes de carga sísmica.

#### **5.1.2.4. Análisis estático no lineal**

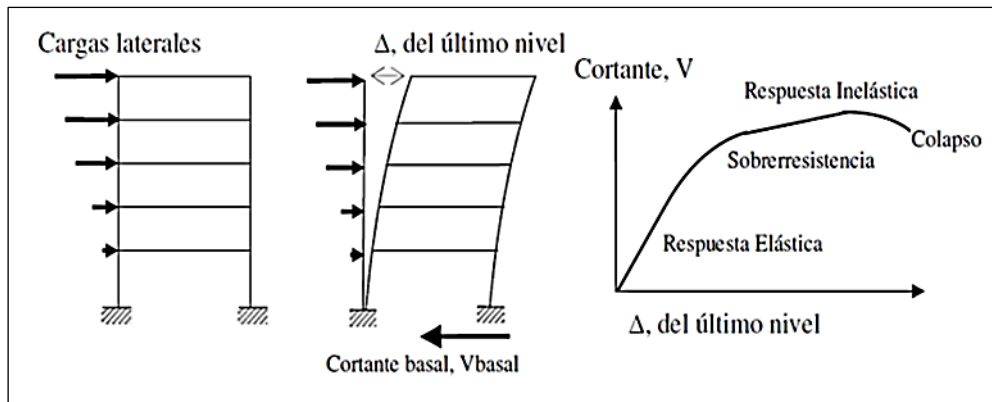
Consiste en aplicar una fuerza lateral a un modelo que tiene en cuenta las no linealidades de una estructura ya diseñada, se va aumentando carga hasta que se obtenga el desplazamiento deseado o se alcance el colapso bajo la combinación de las cargas laterales y los efectos P delta. Para dicho análisis se obtiene la gráfica de cortante basal contra desplazamiento en el último nivel, conocida como curva de capacidad o espectro de capacidad de la estructura y es comparable con la gráfica de demanda obtenida a partir de los espectros de diseño.

El análisis muestra las formas indeseables de formación de mecanismos inelásticos, permite una evaluación de la máxima capacidad de deformación con diferentes niveles de sismos, así como el daño en la estructura, provocado por las deformaciones de la misma.

El análisis no lineal estático, se define en el documento (*Federal Emergency Management Agency, 1997*) como una aproximación de la forma no

lineal de respuesta de una estructura cuando se expone a una carga dinámica de sismo. (Ver figura 43).

Figura 35. **Secuencia del proceso de análisis *Pushover***



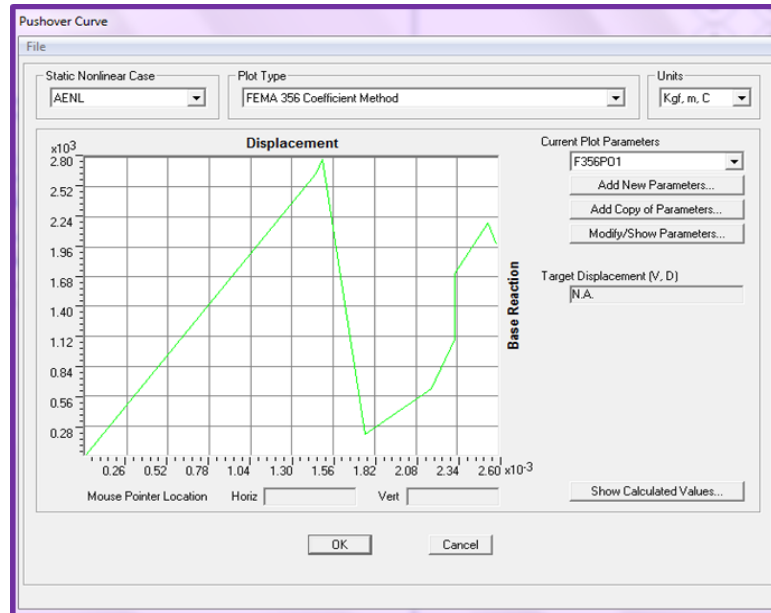
Fuente: Escuela de ingeniería Antioquía. Revista EIA. p 143.

#### 5.1.2.4.1. **Método de *Pushover***

La curva de *pushover*, muestra la capacidad de la estructura y su comportamiento inelástico. Dicha curva es la gráfica de cortante basal contra el desplazamiento en el último nivel, también conocida como curva de capacidad o espectro de capacidad de la estructura.

Este comportamiento y capacidad variará, dependiendo de los miembros estructurales. La capacidad deberá compararse con la demanda en el caso de estudio de estructuras existentes y con base en esta comparación, se tomará la decisión de si se debe reforzar o no la estructura.

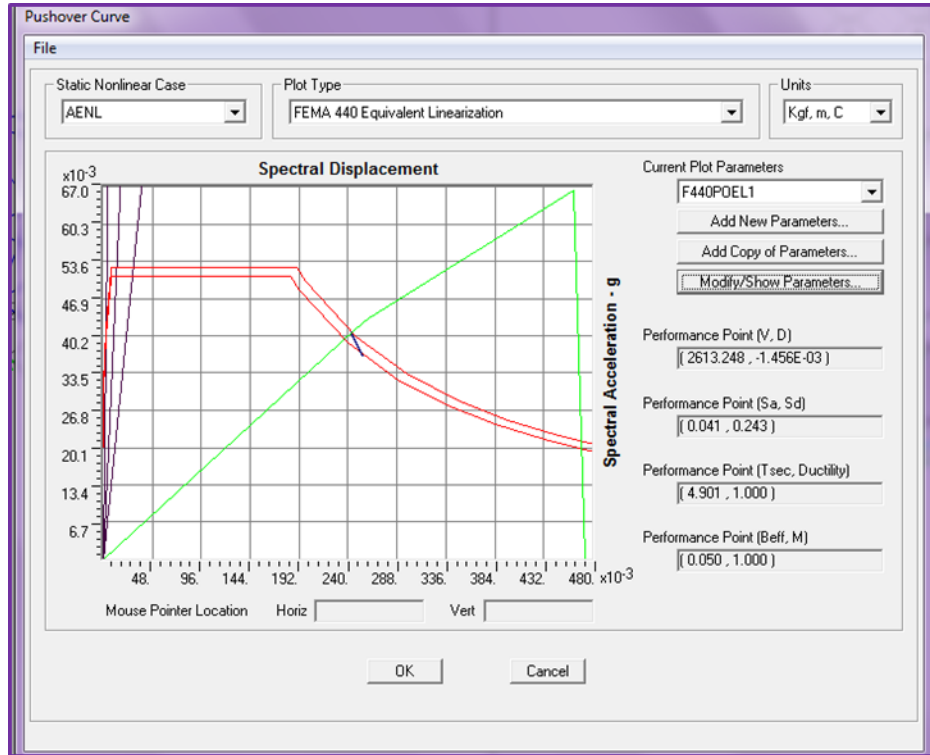
Figura 36. **Curva *pushover***



Fuente: elaboración propia, en programa SAP V15.

Se muestra el comportamiento de la estructura mediante la gráfica desplazamiento versus corte basal de la estantería metálica, los datos para el análisis y creación de la curva, fueron tomados del cálculo del método de las fuerzas, dicha gráfica muestra el comportamiento inelástico de la estantería metálica industrial ante movimientos sísmicos.

Figura 37. Curva de demanda



Fuente: elaboración propia, en programa SAP V15.

La capacidad deberá compararse con la demanda en el caso de estudio de estructuras existentes, con base en esta comparación se tomará la decisión si se debe reforzar o no la estructura.

## **6. RECOMENDACIONES GENERALES PARA EL USO Y DISEÑO DE LAS ESTANTERÍAS METÁLICAS INDUSTRIALES**

Para garantizar un buen funcionamiento de las estanterías metálicas, es necesario tomar en cuenta algunas de las recomendaciones generales que se dan a continuación, ya que el buen diseño y manejo de las estanterías metálicas, proporcionan un mejor funcionamiento en la explotación del almacén o bodega, además de que se evitan colapsos y accidentes en los que se pueden tener pérdidas tanto económicas como humanas.

### **6.1. Recomendaciones en el diseño, armado de la estantería metálica**

Se tomarán en cuenta los cálculos y diseños, así como el buen manejo de las estanterías para lograr un mejor desempeño, tanto de la estantería como del funcionamiento en sí del almacén.

#### **6.1.1. Cálculo y diseño de la estantería**

Para el diseño de la estantería se debe prestar mucha atención a los fenómenos de P-delta en los bastidores, a la torsión en los largueros y la resistencia de los anclajes, así como la resistencia de las uniones bastidor larguero.

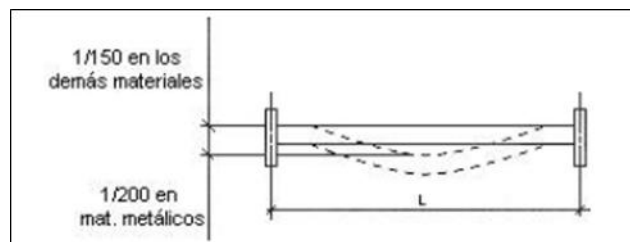
En el caso de la capacidad de carga de los elementos, se deben realizar ensayos de laboratorio, que amparen los diseños establecidos, así como emitir un informe técnico que contenga, los datos geométricos, las cargas máximas a

soportar y algo muy importante, las características de los materiales a usar para la construcción de las estanterías, además de las características de cada uno de los elementos diseñados.

#### 6.1.1.1. Estabilidad y capacidad de carga

Para la estabilidad y capacidad de carga, se debe de considerar que la flecha máxima de los elementos horizontales, debe ser de 1/200. Además de considerar la rigidez tanto en sentido longitudinal como transversal.

Figura 38. Estabilidad del larguero

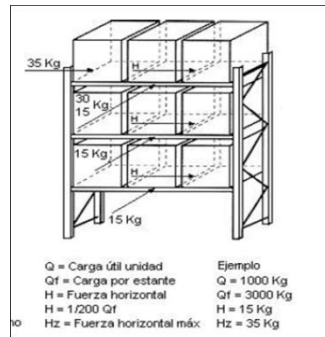


Fuente: Almacenamiento en estanterías y estructuras, España. Edición 298.

#### 6.1.1.2. Considerar fuerzas horizontales

Las fuerzas horizontales se deben considerar para saber la estabilidad y capacidad de carga de instalaciones de almacenaje, que soportan la correspondiente carga nominal, y fuerzas horizontales de 1/200 de la carga máxima admisible por estante, actuando esta fuerza a la altura correspondiente. Además hay que considerar la fuerza horizontal de las estanterías como mínimo de 35 kilogramos.

Figura 39. **Considerar fuerzas horizontales**

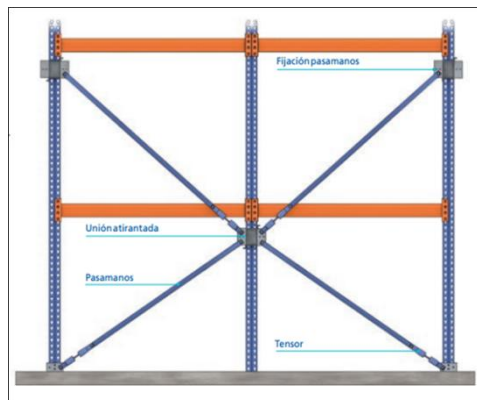


Fuente: Almacenamiento en estanterías y estructuras. España. Edición 298.

### 6.1.1.3. **Arriostramiento en el sentido largo**

Los elementos tendrán que ser arriostrados en el sentido largo con tensores, como se muestran en la siguiente figura, para darle estabilidad a los largueros.

Figura 40. **Arriostro en el sentido largo**



Fuente: Catalogo Mecalux. México. p. 30.



#### **6.1.1.4. Arriostramiento en el sentido corto**

Por lo que recomienda utilizar vigas de arriostre, tanto principal como secundarias de perfil como se especifica en planos constructivos adjuntos y se muestran en la siguiente figura.

Figura 41. **Arriostro en el sentido corto**

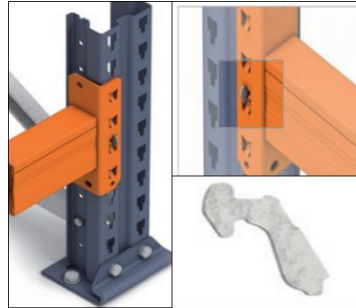


Fuente: Catalogo Mecalux. México. p. 31.

#### **6.1.1.5. Utilización del gatillo de seguridad**

Para la conexión de bastidor larguero, se utilizan los gatillos de seguridad para evitar la caída o desenganche y los movimientos fuera de lugar de los largueros y ensambles. Dichos gatillos no pueden ser removidos de forma accidental en condiciones normales de trabajo.

Figura 42. **Gatillo de seguridad**

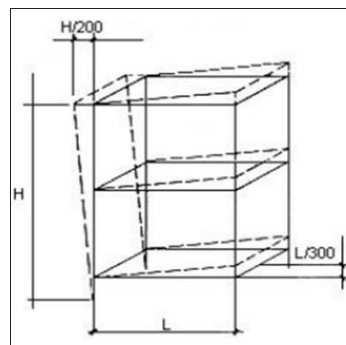


Fuente: Catalogo Mecalux. México. p. 18.

#### 6.1.1.6. **Armado de la estantería**

Para realizar el armado de las estanterías, lo debe hacer el constructor de la misma, en el caso de que la estantería se quiera fijar a la estructura del edificio, se debe verificar si el diseño del edificio de almacenamiento lo permite. Además de considerar que las desviaciones de la estantería a la línea de plomada en dirección longitudinal o transversal no deben ser superiores a  $1/200$  de la altura  $H$ .

Figura 43. **Armado de la estantería**



Fuente: Almacenamiento en estanterías y estructuras. España. Edición 298.

#### **6.1.1.7. Modificación del armado de la estantería**

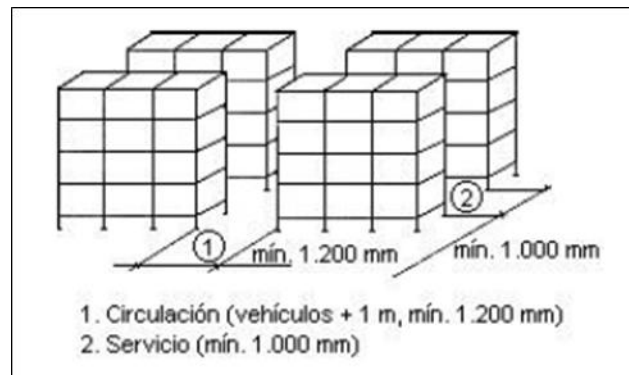
Cualquier modificación de los elementos que componen la estantería, se deberá consultar con el fabricante o el instalador de la misma, para asegurarse de no correr ningún riesgo de colapso o volcamiento de la estantería.

#### **6.1.2. Pasillo de circulación y de servicio**

Para el ancho de los pasillos, se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones para la correcta circulación de los vehículos y evitar accidentes que pueden ocasionar pérdidas tanto materiales como humanas:

- No se debe almacenar nada que obstaculice la correcta circulación. El ancho de los pasillos será, el ancho del vehículo de carga más 1 metro.
- No circular con la carga elevada por los pasillos de circulación.
- Deben instalarse protecciones en los pies de los puntales.
- El ancho de los pasillos secundarios, será de 1 metro mínimo.
- En caso de circulación en ambos sentidos, no debería ser inferior al ancho de los vehículos o de las cargas aumentadas en 1,40 metros. El ancho mínimo será de 1,20 metros.

Figura 44. **Anchos de pasillos de circulación y de servicio**



Fuente: Almacenamiento en estanterías y estructuras. España. Edición 298.

#### **6.1.2.1. Señalización de pasillos**

Los pasillos deberían estar señalizados mediante pintura amarilla delimitando las zonas de paso para evitar posibles accidentes que representen pérdidas de gran estimación.

#### **6.2. Medida de prevención para el uso de la estantería metálica industrial**

Se deben seguir las siguientes consideraciones para el uso adecuado de las estanterías metálicas, colocación de cargas, mantener un orden en el almacén para evitar accidentes, además de darle mantenimiento a las estanterías.

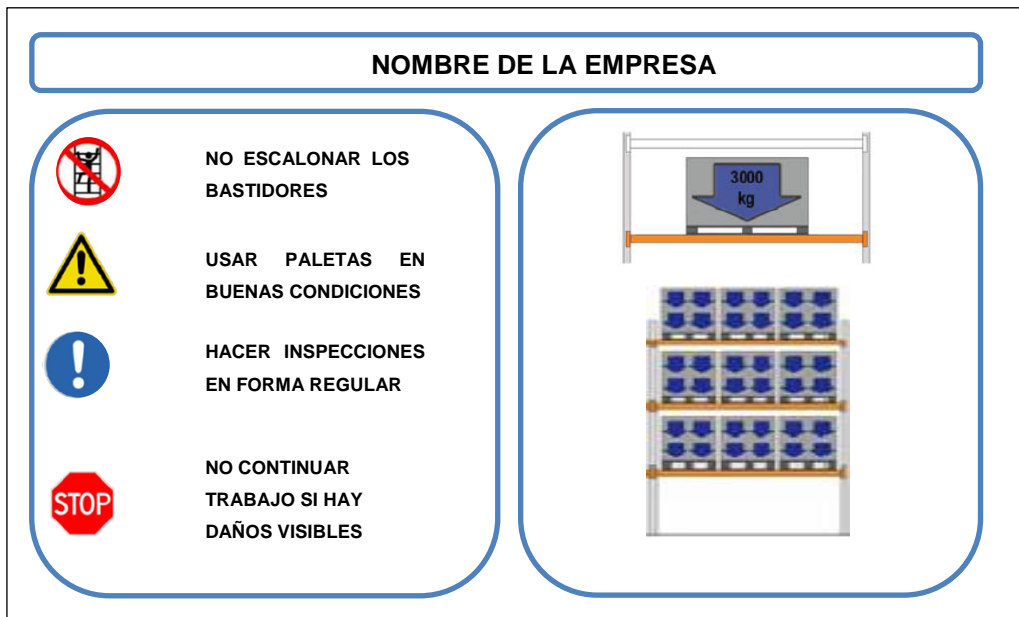
### 6.2.1. Control de colocación de la carga en las estanterías

Las estanterías metálicas deben ser capaces de resistir las cargas para las que fueron diseñadas, no se almacenarán cargas que sobrepasen el límite permitido de la estantería.

### 6.2.2. Indicadores de carga máxima admisible

Se deberá colocar en las estanterías un indicador de carga máxima admisible por nivel, dicho indicador deberá ser visible para cualquier persona que quiera hacer uso de la estantería dentro del almacén.

Figura 45. Indicadores de carga máxima admisible



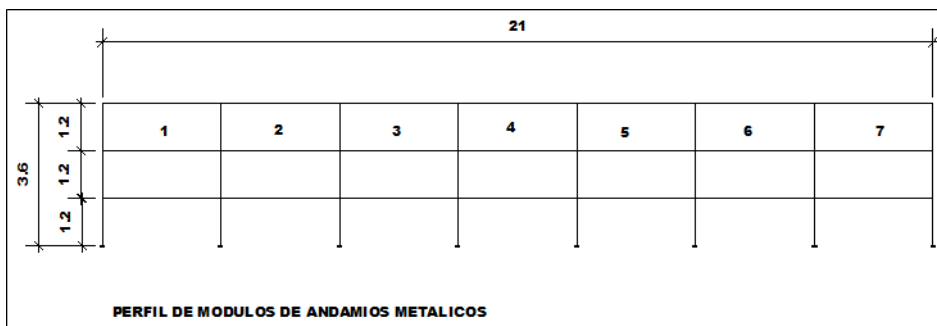
Fuente: Catalogo Mecalux. México. p. 31.

### 6.2.3. Distribución de cargas en alturas

La distribución de cargas tendrá que ser de una manera uniforme y colocando las cargas mayores en los niveles inferiores.

La altura máxima será de 3,6 metros para 3 niveles de cargas, más el nivel de piso como se muestra en la figura adjunta y los módulos no podrán ser mayores de 7 cuerpos o sea 21 metros de largo a ejes. Según normas para el diseño internacional de andamios (Federal Emergency Management Agency, 460. Las cargas serán como en el inciso 3 de estas recomendaciones

Figura 46. **Indicadores de carga máxima admisible**



Fuente: RODRÍGUEZ, Roberto.

### 6.2.4. Restricciones e iluminación del almacén

Para el buen funcionamiento del almacén o bodega, es necesario mantener libre de obstáculo los pasillos de circulación; de servicio y peatonal de las carretillas y objetos que no son necesarios en el lugar. Además de prohibir el paso de personas por los pasillos de servicio. Se deberá autorizar solo en caso necesario y con restricción de vehículos de mantenimiento en ese momento.

#### **6.2.4.1. Iluminación del almacén**

Se debe tener una buena iluminación dentro del almacén o bodega, además de mantener las fuentes luminosas libres de polvo y en buen estado, para la buena explotación del almacén sin pérdidas que puedan ser perjudiciales.

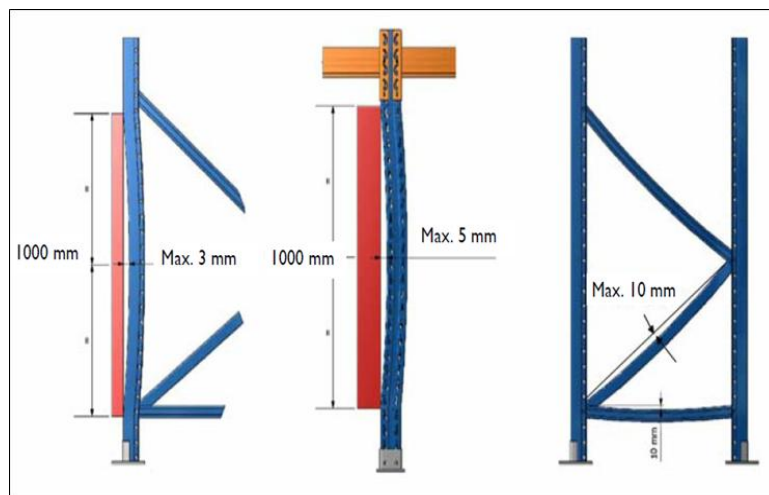
### **6.3. Mantenimiento**

Para el buen desempeño de la estantería, es necesario programar períodos de mantenimiento de los elementos que componen la estructura. Además de considerar lo siguiente:

- Programar rutinas de inspección diaria, para detectar a tiempo anomalías visibles como: elementos deformados, defectos de verticalidad, (ver figura 48) debilitamiento del piso industrial, cargas deterioradas y faltad de gatillos de seguridad entre otros.
- Si hubiesen golpes en algún elemento de la estantería o esta deformado, reemplazarlo de acuerdo a su característica técnica.
- Cada año hacer una supervisión de todo el sistema de estantería y almacén, así como del piso industrial, ya que cualquier deformación en el mismo puede provocar el colapso de la estantería.
- Se permite una deformación máxima de 3,00 milímetros por cada metro de puntal en esquinas. (ver figura 48)

- Tomar en cuenta una deformación no mayor de 5,00 milímetros en el bastidor que se encuentra entre largueros. (ver figura 48)
- Cuidar que las deformaciones en los arriostramientos no pases de los 10,00 milímetros. (ver figura 48).

Figura 47. **Deformaciones en los bastidores**



Fuente: Guidelines for design and safe application. Pallet racking. p. 15.

### 6.3.1. Limpieza

Se deberá realizar limpieza periódica o después de cualquier incidente que provoque un derrame, para evitar algún accidente con consecuencias graves.





## CONCLUSIONES

1. La deformación de la rigidez equivalente, es de suma importancia debido a la forma y morfología del sistema analizado, ya que al hacer la comparación de resultados entre el método de fuerzas y el de desplazamiento directo, estos no fueron significativos.
2. En la actualidad, el diseño, por resistencia es el más utilizado para el diseño de las estanterías metálicas, pero el mismo no considera el desempeño de la estructura ante los diferentes niveles de sismicidad que se dan en el país, es por ello que es necesario tener un mejor conocimiento de otras alternativas de diseño, para mejorar el método de diseño y con ello hacer más eficientes las estanterías metálicas para la necesidades del mercado.
3. La estabilidad y rigidez que los arriostramientos le dan a la estantería, tanto en sentido transversal como longitudinal, son importante para evitar colapso o volcamientos de la estructura de almacenamiento, ante un movimiento telúrico.
4. El diseño por desempeño es una alternativa, para mejorar el diseño de la estantería metálica, en base al conocimiento del comportamiento de la estructura antes los diferentes niveles de sismicidad que se puedan dar en el país.

5. En Guatemala existen diferentes tipos de suelo, hay zonas donde se requiere hacer un estudio o hacer estabilizaciones en los mismos, ya que el nivel de asentamiento es muy grande, es por ellos que es importante conocer las propiedades mecánicas del suelo y datos históricos sísmicos, en el lugar donde se pretende construir el almacén, para que la estructura trabaje acorde a las exigencias solicitadas.
6. Los riesgos de peligrosidad se disminuirán siempre y cuando se sigan las recomendaciones, y se tomen en cuenta las consideraciones de carga para los niveles superiores de la estantería. Además de que el conocimiento de algunas normativas, ayudan a tener una mejor percepción de la utilización de las estanterías metálicas.
7. La inestabilidad de las estanterías a veces es provocado por los asentamiento sufridos en la losa del piso industrial, es importante que el diseño, la construcción y el uso del piso industrial sea acorde a las exigencias de las estanterías para evitar fallas locales y globales.
8. El buen uso y mantenimiento de las estanterías, evitan las deformaciones excesivas que puedan provocar pérdidas en los productos almacenados. Además de evitar efectos como el  $p$  delta en los bastidores.
9. Una deformación muy elevada que sufren los largueros ante carga, es el efecto de flexo torsión, que hace que los elementos horizontales pierdan capacidad para soportar las fuerzas y se produzcan las fallas locales y globales de las estanterías.

10. Los perfiles de sección abierta en columnas ensayadas, presentaron una rigidez a la torsión muy baja, ya que la geometría de la sección se diseña y optimiza para conseguir el máximo momento de inercia a flexión respecto del eje crítico a expensas de una rigidez menor en el eje perpendicular. Esto lleva a que los elementos de sección abierta tienden a ser susceptibles de experimentar pandeo global por flexión o flexo torsión.
  
11. Las estanterías metálicas industriales que se encuentran unidas bastidor larguero, por medio de tornillos, presentaron una carga de trabajo en el orden los 1 800 kilogramos. Mientras que las estanterías metálicas que tienen una unión bastidor larguero en forma de grapas, tienen una capacidad de trabajo de 1 300 kilogramos.



## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer un estudio más profundo acerca del comportamiento de las estanterías metálicas ante los diferentes niveles sísmicos, para mejorar la calidad en el diseño, utilizando como enfoque del diseño por desempeño.
2. Los elementos que se encuentran en el sentido longitudinal, se deben de arriostrar con tensores para mejorar la estabilidad de la estantería como sistema, así como en el sentido transversal o sentido corto del sistema, arriostrarlo utilizando las arriostras diagonales en ambos sentidos y la respectiva arriostra transversal.
3. Distribuir las cargas de manera uniforme y colocar las cargas mayores en los niveles inferiores, así como asegurar que las cargas superiores estén bien colocadas para evitar caídas.
4. En el caso del pie metálico aumentar el área de contacto para mejorar la distribución de carga y así evitar punzonamiento en la losa de piso industrial.
5. No utilizar elementos deformados o en mal estado como repuesto en la estructura de la estantería.

6. Realizar estudios en el comportamiento sísmicos de las estanterías metálicas para realizar normativas del diseño, uso y mantenimiento de las estanterías metálicas para el área de Guatemala.
7. Hacer estudios geotécnicos y geológicos al suelo donde se pretenda construir el almacén o bodega, para mejorar las propiedades mecánicas del suelo, por medio de la estabilización, ya sea por métodos químicos o físicos.
8. Controlar las deformaciones que sufren los largueros a causa del efecto de flexo torsión, así como la esbeltez de los bastidores para evitar volcamiento o colapso en el sistema.
9. Tener en cuenta el cuidado de los defectos que puedan tener los elementos del sistema, para evitar accidentes en almacenes abiertos al público.
10. Evitar la flexión y punzonamiento en la losa del piso industrial, utilizando refuerzo o fibras metálicas en el diseño del mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AMBROSE, James. *Análisis y diseño de estructuras*. 3a ed. México: Limusa, 1998. 844 p. ISBN: 9681854195
2. American Institute of Steel Construction, AISC 360-05. *Specification for structural steel building*. Estados Unidos: AISC, 2005. 470 p.
3. BRUCE, Johnston. *Diseño básico de estructuras de acero*. 3a ed. México: Prentice Hall Hispanoamericana. 50 p.
4. REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. *Estabilización de suelos y taludes*. CE.020. 2a ed. Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia. 2009. 28 p.
5. DISEÑO INDUSTRIAL. *Manual de diseño y construcción de pisos industriales*. México: CEMEX. 80 p.
6. International Building Code, IBC-09. Estados Unidos: IBC, 2009. 304 p.
7. MECALUX. *Paletización convencional*. México: McGraw Hill, 1993. 44 p.
8. SISTEMAS DE ALMACENAJE. MECALUX. *Estanterías para paletización convencional*. Argentina: McGraw Hill, 1993. 20 p.



9. MECALUX. *Rack estructural*. México: McGraw Hill 1993. 4 p.
10. ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA AIS. *Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente*. NSR-98. 1ra. edición. Colombia: Comalco. 2009. 77 p.
11. PALLET RACKING. *Guidelines for design and safe application*. Estados Unidos: Storage solution. 2011. 18 p.
12. RACK MANUFACTURES INSTITUTE. *Specification for the design, testing, and utilization of industrial steel storage racks*. Estados Unidos: Material Handling Industry. 2002. 11 p.
13. REVISTA EIA. *Propuesta metodológica para la evaluación del desempeño estructural de una estantería metálica*. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Medellín, Colombia: 2009. 12 p.
14. TAMBORERO, José. *Almacenamiento en estanterías y estructuras*. NTP 298. España: Centro Nacional de Condiciones de Trabajo. 1998. 8 p.
15. Uniform Building Code, UBC. Estados Unidos: UBC: 2003. 16 p.

## **APÉNDICES**



Figura 48. **Deformómetros en los puntales a y b de la muestra 1**

**Muestra 1**

(Ver sección 4.1)



Fuente: Centro de Investigaciones Ingeniería. Sección de Estructuras.

Figura 49. **Deformómetros en los puntales a y b de la muestra 1**

**Muestra 1**  
(Ver sección 4.1)



Fuente: Centro de Investigaciones Ingeniería. Sección de Estructuras.

Figura 50. **Armado de la estantería metálica en el ensayo y deformaciones en los puntales muestra 2**

**Muestra 2**

(Ver sección 4.2)



Fuente: Centro de Investigaciones Ingeniería. Sección de Estructuras.

Figura 51. **Armado de la estantería metálica en el ensayo y deformaciones en los puntales muestra 2**

**Muestra 2**  
(Ver sección 4.2)



Fuente: Centro de Investigaciones Ingeniería. Sección de Estructuras.

Figura 52. **Armado de la estantería metálica en el ensayo y deformaciones en los puntales muestra 2**

**Muestra 2**  
(Ver sección 4.2)



Fuente: Centro de Investigaciones Ingeniería. Sección de Estructuras.



Figura 53. **Aplicación de carga en la estantería metálica muestra 3**

**Muestra 3**  
(Ver sección 4.3)



Fuente: Centro de Investigaciones Ingeniería. Sección de Estructuras.

Figura 54. **Aplicación de carga en la estantería metálica 4**

**Muestra 3**

(Ver sección 4.3)

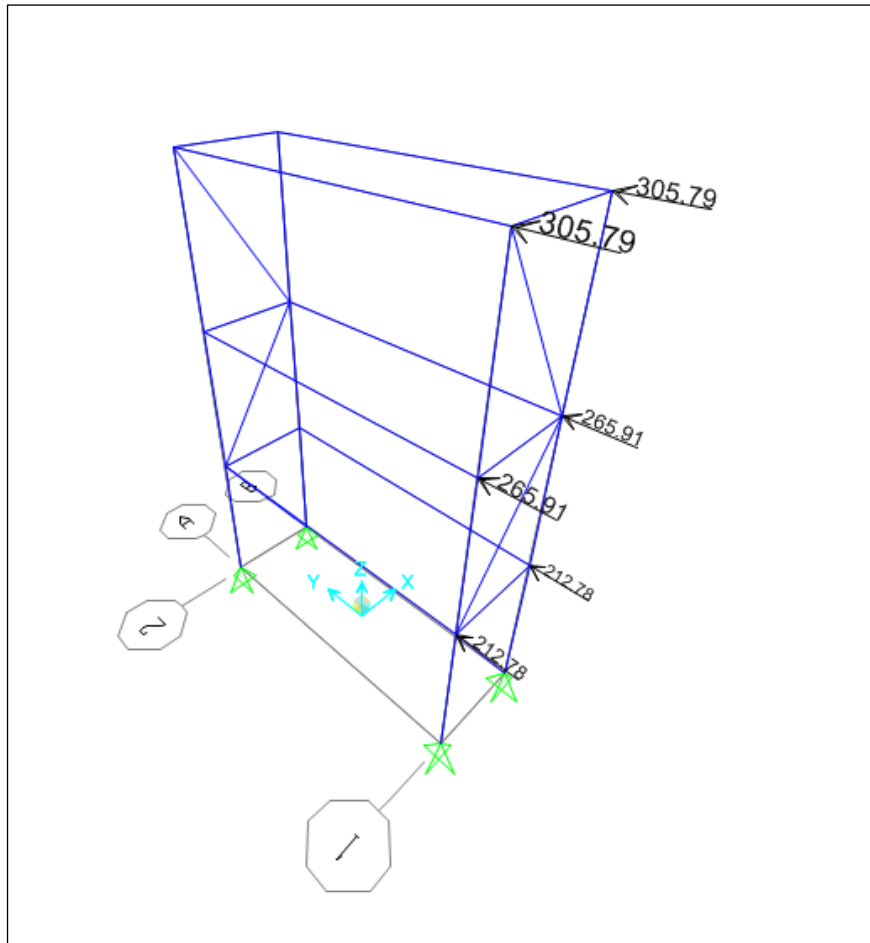


Fuente: Centro de Investigaciones Ingeniería. Sección de Estructuras.

Figura 55. **Cargas horizontales a la estantería metálica (modelado *software*). Sap v15**

**Modelado**

(Ver sección 5.1.2.4.1)

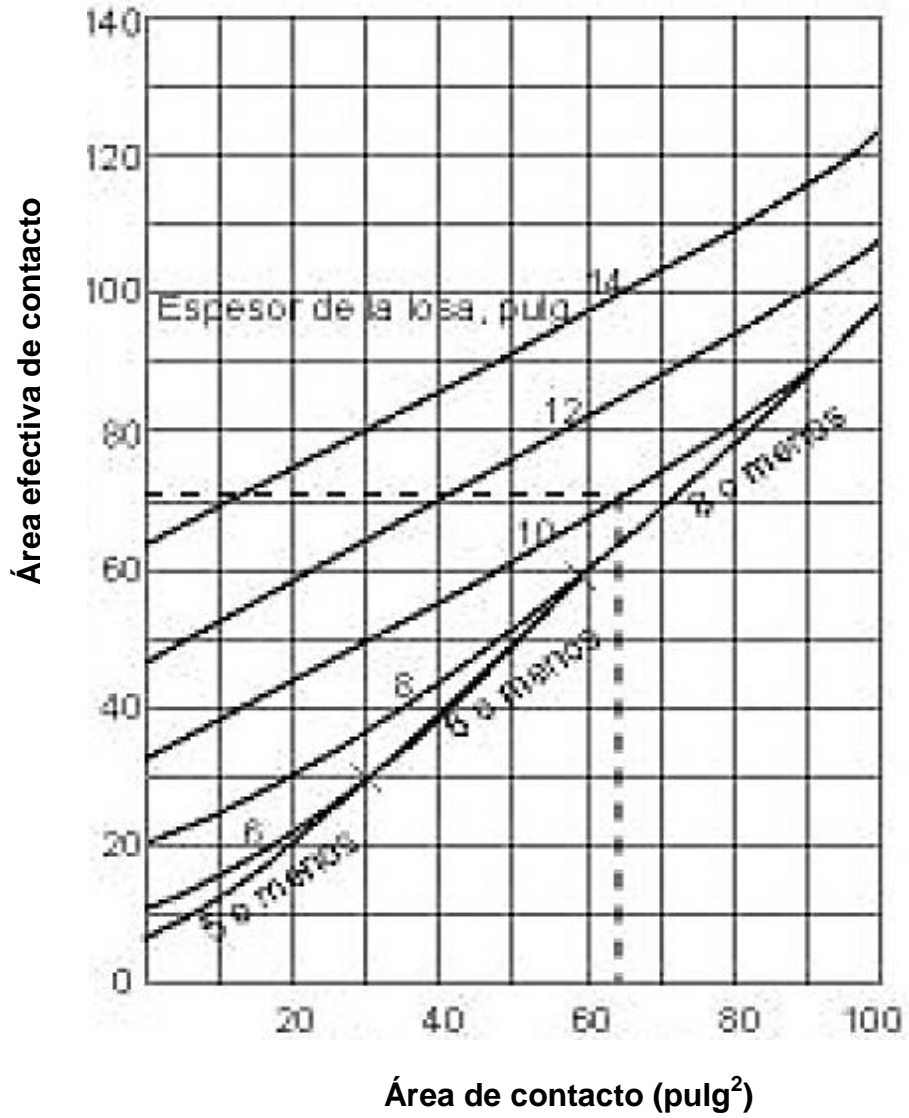


Fuente: elaboración propia, en programa SAP V15.

## **ANEXOS**

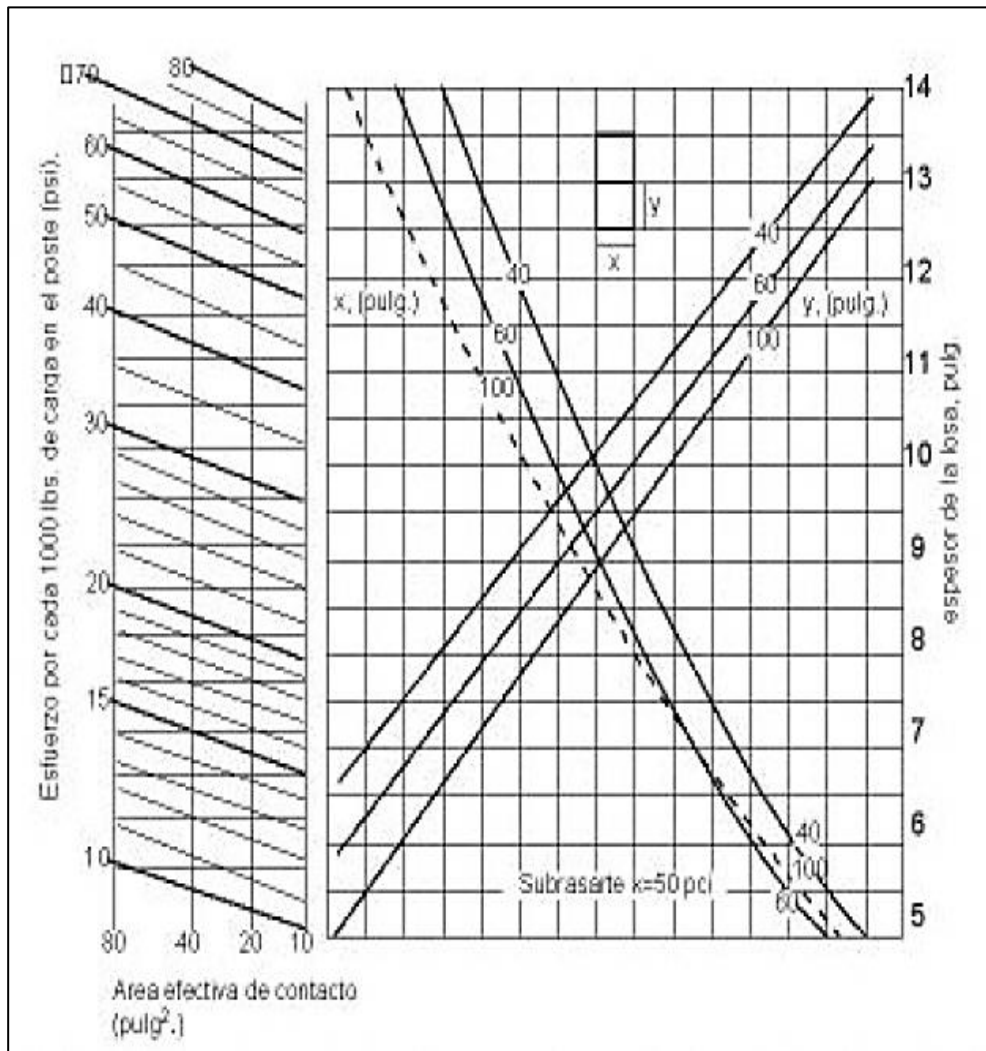


Figura 56. Gráfica para determinar el área efectiva de contacto del pie metálico



Fuente: CEMEX. Manual de la construcción.

Figura 57. Gráfica para determinar la subrasante



Fuente: CEMEX. Manual de la construcción.

Tabla IX. **Coefficiente sísmico  $C_a$**

Tipo de Perfil de Suelo	$A_a < 0,05$	$A_a = 0,05$	$A_a = 0,10$	$A_a = 0,20$	$A_a = 0,30$	$A_a = 0,40$
A	$A_a$	0,04	0,08	0,16	0,24	0,32
B	$A_a$	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40
C	$A_a$	0,06	0,12	0,24	0,33	0,40
D	$A_a$	0,08	0,16	0,28	0,36	0,44
E	$A_a$	0,13	0,25	0,34	0,36	0,44

NOTA Para valores intermedios de  $A_a$ , se debe usar el valor superior o interpolar linealmente para determinar el valor de  $C_a$ .

Fuente: Norma técnica colombiana. NTC 5689.



Tabla X. **Coefficiente sísmico  $C_v$**

Tipo de Perfil de Suelo	$A_v < 0,05$	$A_v = 0,05$	$A_v = 0,10$	$A_v = 0,20$	$A_v = 0,30$	$A_v = 0,40$
A	$A_v$	0,04	0,08	0,16	0,24	0,32
B	$A_v$	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40
C	$A_v$	0,09	0,17	0,32	0,45	0,56
D	$A_v$	0,12	0,24	0,40	0,54	0,64
E	$A_v$	0,18	0,35	0,64	0,84	0,96

NOTA Para valores intermedios de  $A_v$ , se debe usar el valor superior o interpolar linealmente para determinar el valor de  $C_v$ .

Fuente: Norma técnica colombiana. NTC 5689.