



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

## **EDIFICACIONES HABITACIONALES CON CONTENEDORES MARÍTIMOS**

**Gustavo Alejandro Say García**

Asesorado por el Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez

Guatemala, abril de 2018



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EDIFICACIONES HABITACIONALES CON CONTENEDORES MARÍTIMOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**GUSTAVO ALEJANDRO SAY GARCÍA**

ASESORADO POR EL ING. LUIS ESTUARDO SARAVIA RAMÍREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2018



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
EXAMINADOR	Ing. Walter Rolando Salazar González
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

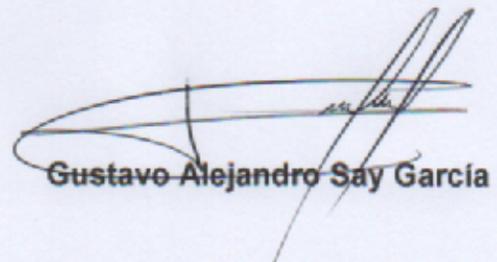


## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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:

### EDIFICACIONES HABITACIONALES CON CONTENEDORES MARÍTIMOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 9 de septiembre de 2015.



Gustavo Alejandro Say García



Guatemala, 08 de noviembre de 2017

Ing. José Gabriel Ordoñez Morales  
Jefe del Área de Materiales de Construcción  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

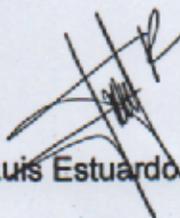
Honorable Ingeniero:

Por este medio me dirijo a usted para saludarle y a la vez, informarle que como el asesor de tesis del estudiante de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala identificado con número de carné 2006-15046 Gustavo Alejandro Say, procedí a revisar el trabajo de graduación, cuyo título es: **"EDIFICACIONES HABITACIONALES CON CONTENEDORES MARITIMOS"**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, grato es subscribirme,

Atentamente.



Ing. Luis Estuardo Saravia  
Asesor

LUIS ESTUARDO SARAVIA RAMÍREZ  
M.Sc. Ing. Civil  
Colegiado 3988



**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



Guatemala,  
12 de febrero de 2018

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

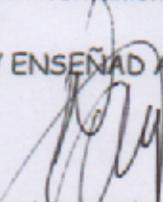
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EDIFICACIONES HABITACIONALES CON CONTENEDORES MARITIMOS** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil **Gustavo Alejandro Say García** quien contó con la asesoría del Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez.

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,

FEEL AND TEACH TO ALL

  
Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales  
Coordinador del Área de Materiales y  
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
**USAC**

/mrrm.



*Más de 136 años de Trabajo y Mejora Continua*



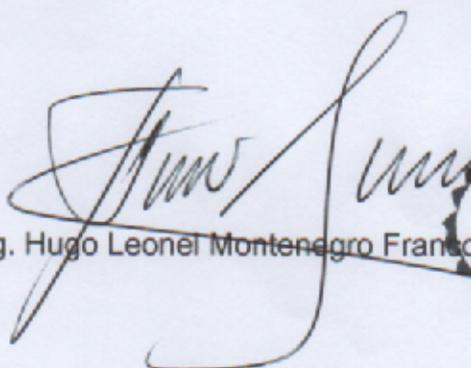
**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez y Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Gustavo Alejandro Say García EDIFICACIONES HABITACIONALES CON CONTENEDORES MARÍTIMOS da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, abril 2018

/mmm.

*Mas de 137 años de Trabajo y Mejora Continua*

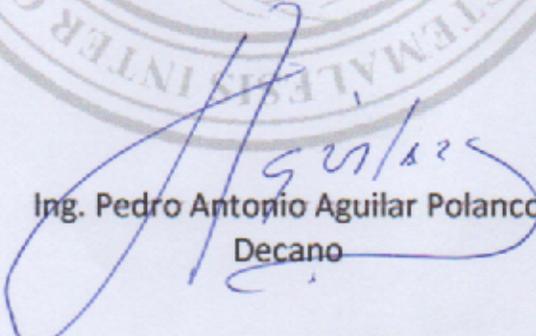




DTG. 135.2018

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: **EDIFICACIONES HABITACIONALES CON CONTENEDORES MARÍTIMOS**, presentado por el estudiante universitario: **Gustavo Alejandro Say García**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, abril de 2018



/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Mis padres</b>	Miguel Say y Floridalma García. Por ser quienes me inspiraron a culminar mi carrera
<b>Mis hermanos</b>	Hilmar y Luis Say. Por impulsarme a nunca darme por vencido.
<b>Mis abuelas</b>	Clara Fuentes y Apolonia Say. Quienes siempre me desearon un gran futuro.
<b>Mis abuelos</b>	Juan García y Matías Tezen. A pesar de no estar con nosotros, siempre vivirán en mis recuerdos.
<b>Mi familia</b>	A todos en general. Por desearme siempre lo mejor.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser el eslabón fundamental de mi vida profesional
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por convertirme en un ciudadano de cambio y de éxito.
<b>Mi asesor</b>	Luis Saravia. Por creer y confiar en mí.
<b>Catedráticos</b>	Por compartirme los conocimientos necesarios para ser un profesional de éxito.
<b>Amigos universitarios</b>	Por apoyarme durante el tiempo que duró este largo camino.
<b>Amigos</b>	A todos en general. Por sus palabras de ánimo y deseos de éxito.
<b>Compañías</b>	CLT, S.A y S&T, S.A. Por permitirme realizar mediciones, fotografías y pruebas en sus instalaciones



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Conceptos básicos de contenedores marítimos .....	1
1.1.1. Reseña histórica de los contenedores marítimos .....	4
1.1.2. Antecedentes de contenedores utilizados como edificios habitacionales .....	5
1.1.3. Datos técnicos de los contenedores marítimos .....	11
1.1.3.1. Tipos de contenedores marítimos o contenedores ISO .....	19
1.1.3.2. Capacidad de carga.....	27
1.1.3.3. Requerimientos internacionales para contenedores marítimos .....	30
1.1.3.4. Manipulación y transporte de los contenedores marítimos .....	30
1.2. Sistemas constructivos de contenedores .....	35
1.2.1. Método constructivo de contenedores marítimos para uso habitacional.....	36
1.2.1.1. Integración de cargas para contenedores marítimos .....	41

	1.2.1.2.	Cimentación para contenedores.....	59
	1.2.1.3.	Apertura de vanos .....	76
	1.2.2.	Factores ambientales que influyen en la habitabilidad de una edificación .....	78
1.3.		principales influencias ambientales en la comodidad de un edificio habitacional .....	78
	1.3.1.	Ruido .....	79
	1.3.2.	Temperatura ambiente .....	79
	1.3.3.	Humedad relativa .....	80
	1.3.4.	Normativas y requerimientos necesarios para garantizar la comodidad y salud de los ocupantes de un edificio habitacional .....	80
	1.3.4.1.	Niveles ruido permitidos .....	80
	1.3.4.2.	Niveles de temperatura permitida.....	84
	1.3.4.3.	Métodos para toma de datos ambientales como sonido, humedad y temperatura ambiente .....	86
2.		DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	89
	2.1.	Metodología utilizada para la toma de datos de sonido, humedad y temperatura .....	89
	2.1.1.	Factores y lugares donde se tomaron los datos .....	89
	2.1.2.	Medición de sonido .....	91
	2.1.3.	Mediciones de temperatura y humedad .....	93
	2.2.	Datos obtenidos en mediciones .....	94
	2.2.1.	Mediciones de sonido.....	94
	2.2.2.	Mediciones sobre temperatura .....	95
	2.2.3.	Tabulación de datos y gráficos.....	99

3.	ANALISIS DE RESULTADOS .....	105
3.1.	Análisis de resultados estructurales .....	105
3.2.	Análisis de resultados de sonido .....	105
3.3.	Análisis de resultados de temperatura .....	106
	CONCLUSIONES .....	111
	RECOMENDACIONES .....	113
	BIBLIOGRAFÍA .....	115
	APÉNDICES .....	119
	ANEXOS .....	125



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Contenedores marítimos en una terminal de transporte .....	3
2.	El primer edificio de contenedores de la historia .....	6
3.	Galería GAD.....	8
4.	<i>Nomadic museum</i> .....	9
5.	<i>Papertainer museum</i> .....	9
6.	<i>Hh cruise center</i> .....	10
7.	<i>12 container house</i> .....	11
8.	Partes del contenedor .....	12
9.	Poste frontal en contenedor desmantelado.....	13
10.	Detalle de panel lateral y techo .....	14
11.	Viga lateral inferior .....	14
12.	Fotografía de esquinero .....	15
13.	Dimensiones de esquinero en milímetros .....	16
14.	Partes de la puerta.....	18
15.	Dry Van 40 pies.....	20
16.	Dry Van 20 pies.....	20
17.	Contenedores <i>high cube</i> .....	21
18.	FLAT.....	24
19.	<i>Reefer</i> .....	25
20.	<i>Reefer high cube</i> .....	26
21.	ISO Tank .....	27
22.	Buque portacontenedores .....	28
23.	Montacargas .....	31

24.	Portacontenedores.....	32
25.	Grúa elevando un contenedor .....	33
26.	Cabezal movilizand o un contenedor de 20 pies .....	33
27.	Contenedor de 20 pies sobre un remolque de tres ejes .....	34
28.	Distribución de cargas en un contenedor.....	37
29.	Plantas arquitectónicas de edificación base .....	38
30.	Vistas arquitectónicas .....	40
31.	Planta: distribución de cargas en los contenedores.....	43
32.	Cargas en los contenedores .....	46
33.	Distribución de apoyos en contenedores .....	46
34.	Carga distribuida en panel lateral .....	47
35.	Diagramas reacciones contenedor de 40 pies en kg .....	48
36.	Diagrama de corte de contenedor de 40 pies en kg .....	49
37.	Diagrama de momentos de contenedor de 40 pies en kg-m .....	50
38.	Cargas en apoyos por nivel .....	52
39.	Detalle en sección de panel lateral .....	53
40.	Vanos en contenedores .....	56
41.	Contenedor sin panel lateral .....	58
42.	Detalle de Twistlock, dimensiones en milímetros .....	60
43.	Fuerzas de sismo.....	61
44.	Cortante basal.....	63
45.	Planta de cimentación.....	64
46.	Fuerzas en cimiento Z-1 .....	67
47.	Armado final de zapata Z-1.....	69
48.	Fuerzas en cimiento Z-2 .....	70
49.	Detalle de armado de cimiento tipo Z-2 .....	74
50.	Placa base .....	75
51.	Refuerzo con tubo rectangular en vanos de ventana.....	77
52.	Diagrama de Olgyay .....	85

53.	Contenedor utilizado para desarrollo experimental (A) .....	90
54.	Contenedor utilizado para desarrollo experimental (B) .....	91
55.	Sonómetro utilizado.....	92
56.	Termómetro utilizado.....	94
57.	Temperatura mínima registrada .....	98
58.	Temperatura máxima registrada .....	98
59.	Variación de la temperatura en el tiempo febrero-mayo.....	99
60.	Gráfica de los cambios de temperatura durante el día.....	101
61.	Temperaturas máximas y mínimas ocurridas dentro del contenedor en diferentes días.....	101
62.	Temperatura durante un mismo día (A) .....	102
63.	Temperatura durante un mismo día (B) .....	103

## TABLAS

I.	Dimensiones de contenedores norma ISO 668.....	19
II.	Características de contenedores Dry Van.....	21
III.	Características <i>high cube</i> .....	22
IV.	Características del <i>open top</i> .....	22
V.	Características del <i>bulk</i> .....	23
VI.	Características de la plataforma plegable .....	23
VII.	Características del <i>open side</i> .....	24
VIII.	Características <i>reefer</i> .....	25
IX.	Característica <i>reefer high cube</i> .....	26
X.	Características del ISO Tank .....	27
XI.	Resumen de tabla 3-1 Agies NSE 2-10.....	42
XII.	Integración de cargas para contenedor de 40 pies .....	44
XIII.	Integración de cargas para contenedor de 20 pies .....	45
XIV.	Propiedades de viga lateral inferior .....	57

XV.	Cálculo de cortante basal .....	63
XVI.	Datos para cimiento z-1 .....	66
XVII.	Datos para cimiento tipo Z-2.....	71
XVIII.	Niveles de potencia sonora.....	81
XIX.	Niveles de presión sonora .....	82
XX.	Sensaciones de niveles de ruido .....	83
XXI.	Niveles máximos de ruido según ministerio de trabajo .....	83
XXII.	Presión sonora dentro de contenedor.....	95
XXIII.	Datos obtenidos de temperatura y humedad .....	96
XXIV.	Valores de temperatura máximos y mínimos .....	97
XXV.	Variación de la temperatura durante el día .....	100

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
'	Pie lineal
"	Pulgada
<b>cm</b>	Centímetro
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetro cuadrado
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>dB</b>	Decibelios
<b>in</b>	Pulgada
<b>in<sup>2</sup></b>	Pulgada cuadrada
<b>j</b>	Julio
<b>K</b>	Grados Kelvin
<b>lb</b>	Libras fuerza
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>mm</b>	Milímetro
<b>Km</b>	Kilometro
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>Ton</b>	Tonelada
<b>W</b>	Vatio



## GLOSARIO

<b>Acoplar</b>	Unir piezas o elementos de manera que ajusten perfectamente.
<b>AGIES</b>	Normativa guatemalteca de la Asociación guatemalteca de ingeniería estructural y sísmica.
<b>Aduana</b>	Oficina pública del Estado, situada en las fronteras, puertos o aeropuertos, en ella se registran los géneros y mercancías que se importan o exportan y se cobran los derechos que adeudan según el arancel correspondiente.
<b>Articulado</b>	Que tiene articulaciones o piezas unidas por articulaciones.
<b>Chapa</b>	Lámina delgada de un material duro, especialmente madera o metal que se utiliza en la industria con espesores entre 1-12 milímetros.
<b>Confort</b>	Condiciones materiales que proporcionan bienestar o comodidad o una sensación abstracta de seguridad al usuario.
<b>Container</b>	Recipiente metálico grande y recuperable, de tipos y dimensiones normalizados internacionalmente y

provisto de ganchos o argollas para facilitar su carga y descarga mediante grúas, que sirve para transportar mercancías a grandes distancias.

**Contrachapada**

Que está hecho de varias capas finas de madera pegadas de modo que sus fibras queden entrecruzadas.

**Edificación**

Nombre genérico con que se designa cualquier construcción de grandes dimensiones fabricada con piedra o materiales resistentes y que está destinada a servir de espacio para el desarrollo de una actividad humana.

**Habitacional**

De la vivienda o relacionado con ella, cualquier construcción utilizada de forma cotidiana para personas.

**ISO**

*International Organization for Standardization*, Organización Internacional de Estandarización.

***Intermodal***

Sistema de transporte que está pensado para que pueda utilizarse en más de un medio.

**Logística**

Conjunto de los medios necesarios para llevar a cabo un fin determinado de un proceso complicado.

**Marítimo**

Del mar o que tiene relación con las actividades relacionadas con él.

<b>Normativa</b>	Norma o conjunto de normas por las que se regula o se rige determinada materia o actividad.
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud.
<b>Predio</b>	Finca, tierra o posesión inmueble, es un inmueble de extensión superficial delimitada.
<b>Peso bruto</b>	Peso de una mercancía, incluido el envase o embalaje.
<b>Panel</b>	Plancha prefabricada de diversos materiales que se usa en construcción para dividir o separar verticalmente espacios.



## RESUMEN

Un contenedor marítimo es una caja de acero, madera o aluminio utilizada para el transporte de todo tipo de mercaderías por vía terrestre y marítima en buques. Existen diferentes tipos y dimensiones de contenedores, cada uno con una capacidad de carga, volumen específico que se adapta a todos los tipos de carga conocidos. Los más comunes son los de transporte de mercadería seca conocidos como Dry Van en tamaños de 20 pies y 40 pies normados por las normas ISO 668, movilizadas por tierra con camiones tipo cabezal y remolques.

Desde que Malcom Mclean lo introdujo como un medio de transporte de mercaderías el contenedor marítimo ha sido un elemento indispensable en el transporte intermodal. La adaptación de las necesidades a los medios disponibles provoca que los contenedores sean utilizados como bodegas o viviendas improvisadas, esto provoca que el contenedor sea visto como un elemento constructivo, apoyado por los ambientalistas, el reciclaje y arquitectos que ven en el contenedor un elemento fácil de adaptar a sus diseños. Con el apoyo de arquitectos nace una nueva rama “la arquitectura de contenedores”.

La utilización de uno o varios contenedores como elementos constructivos se realiza uniéndolos por medio de soldadura o pernos. Al ser una caja metálica muy rígida, su manipulación es segura y rápida, pero deben ser manipulados únicamente con maquinaria especial, ya sea montacargas, portacontenedores o grúas. La forma de configurarlos queda a criterio del diseñador o cliente, pero existen ciertos criterios constructivos y estructurales que son necesarios tomar en cuenta antes de utilizarlo, ya que es común que se realicen cortes para puertas y ventanas provocando con esto el debilitamiento estructural del contenedor.

Se suele pensar que un contenedor es una forma fácil y económica para realizar una edificación pero hay factores climáticos que pueden afectar la calidad de vida de las personas que la utilicen, y entre estos factores está el ruido, la temperatura y la humedad, estos factores están directamente relacionados con la salud de los ocupantes, debido a esto es importante conocer el comportamiento de estos factores dentro del contenedor, al carecer de estudios preliminares se realizaron mediciones de ruido, temperatura y humedad en un contenedor *Dry Van* de 20 pies ubicado en el municipio de Villa Nueva departamento de Guatemala, esto con el fin de determinar si un contenedor es un elemento idóneo para utilizarlo en la construcción.

El contenedor por ser un elemento hecho en su mayor parte por acero es un excelente conductor térmico y acústico, pero mediciones realizadas indicaran si el contenedor es saludable para los habitantes en base a los parámetros indicados por la OMS y por normativas nacionales e internacionales.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Dar a conocer un nuevo método constructivo que puede ser utilizado en la sociedad tomando en cuenta los factores estructurales y climáticos del país.

### **Específicos**

1. Proporcionar los datos técnicos, normativas actuales sobre los contenedores marítimos que influyan en el uso de edificaciones habitacionales.
2. Por medio de mediciones y experimentación de campo, encontrar los factores ambientales que mayor influencia tengan sobre la habitabilidad de edificaciones.
3. Demostrar en base a lo desarrollado en este documento, si es factible o no en términos arquitectónicos y estructurales, para que puedan conformarse edificaciones habitables.



## INTRODUCCIÓN

En el siguiente proyecto se pretende estudiar los contenedores marítimos como un nuevo tipo de sistema constructivo para casas de habitación, oficinas, albergues, etcétera. Hay que recordar que la comodidad de las personas que ocupan una instalación habitacional es de mucha importancia, comodidad que se ve afectada muchas veces por las inclemencias del tiempo. Por lo tanto, para demostrar la eficacia de los contenedores marítimos como un sistema constructivo hay que tomar en cuenta los factores climáticos que tendrá que soportar: temperatura, humedad y sonido, entre otros.

El primer capítulo está relacionado con las descripciones generales de manera teórica de los de contenedores como: reseña histórica, tipos, usos, manejo, forma de construcción y los factores que influyen en la habitabilidad de una edificación.

Para la realización del segundo capítulo se realizarán mediciones de humedad, temperatura y sonido en el interior y exterior de los contenedores marítimos y las permitidas según ministerio de salud. Además, se darán las recomendaciones necesarias, para mejorar su comodidad y el sistema de construcción adecuado para la implementación de edificaciones seguras.

La investigación plantea proponer un sistema constructivo que promueva la utilización de contenedores marítimos para la construcción de casas u oficinas, que, incluso, podrían ser utilizados como albergues provisionales en caso de catástrofes naturales.



# 1. MARCO TEÓRICO

Los contenedores son recipientes utilizados para el transporte de carga aérea, marítima o terrestre, existen en diferentes formas, tamaños y materiales. Pero de todos los contenedores que existe los que tienen mayor importancia a escala mundial son los marítimos. Debido al uso que tienen los contenedores marítimos para el transporte de carga es de gran importancia la exigencia de estándares de calidad, así como el cumplimiento de normativas en diferentes de países.

Los estándares de calidad y normativas son importantes en todas partes del mundo ya que garantizan el correcto funcionamiento de los productos utilizados, por ello, en la construcción también existen normativas básicas y generales que hay que cumplir. Entre las normativas de construcción existen aquellas que garanticen la habitabilidad de las edificaciones.

Por lo anteriormente descrito, en el presente capítulo se detallarán las normativas y estándares de calidad que rigen a los contenedores marítimos y la habitabilidad de una edificación de contenedores.

## 1.1. Conceptos básicos de contenedores marítimos

Un contenedor marítimo es una caja de carga fabricada de acero, aluminio, madera contrachapada o fibra de vidrio utilizado para el transporte terrestre, marítimo o transporte intermodal. También son conocidos como “contenedores ISO” debido a que son fabricados bajo la normativa *International Organization for Standardization*, específicamente ISO-668.

Según la página web <http://blogistica.es>, el contenedor marítimo o *container* en su lenguaje universal tiene muchas definiciones:

La normativa ISO registrada en la norma UNE 49-751 lo define como un instrumento de transporte que reúna las siguientes características:

- Concebido para facilitar el transporte de mercancías, sin rotura de cargo, por uno o varios modos de transporte.
- Provisto de dispositivos que permitan su manipulación.
- Suficientemente resistente para permitir su uso repetido.
- Volumen interior de un metro cúbico como mínimo.
- Creado de forma que resulte fácil su carga y descarga.

El Convenio Aduanero de Ginebra, de 8 de mayo de 1956, lo define:

“Instrumento de transporte portátil o móvil de carácter permanente, apto para su uso reiterado y para el transporte de mercancías a *granel* o ligeramente embaladas, especialmente con propósito de transporte sin manipulaciones intermedias, por medio de un transporte cualquiera o la combinación de varios de ellos.”<sup>1</sup>

El Convenio Internacional sobre la Seguridad de los Contenedores (CSC), expresa que un contenedor es:

- De carácter permanente, y, por lo tanto, suficientemente resistente para permitir su empleo repetido.

---

<sup>1</sup> *McLean y la caja que cambió el transporte de mercancías.* <https://www.tibagroup.com/mx/mclean-y-la-caja-que-cambio-la-historia-del-comercio>. Consulta: abril de 2016.

- Especialmente ideado para facilitar el transporte de mercancías, por uno o varios modos de transporte, sin manipulación intermedia de la carga.
- Construido de manera que pueda sujetarse y/o manipularse fácilmente, con cantoneras para este fin. Entiéndase como cantonera a las esquinas de los contenedores por donde son sujetados.
- De un tamaño tal que la superficie delimitada por las cuatro esquinas inferiores exteriores sea: por lo menos de 150 pies cuadrados (14 m<sup>2</sup>) o, por lo menos de 75 pies cuadrados (7 m<sup>2</sup>), si lleva cantoneras superiores.

Figura 1. **Contenedores marítimos en una terminal de transporte**



Fuente: elaboración propia, predio S&T, Villa Nueva.

### 1.1.1. Reseña histórica de los contenedores marítimos

Los contenedores utilizados hoy en día como medio de transporte de mercadería tienen sus orígenes en la época de la Segunda Guerra Mundial, creado para el transporte seguro de material bélico. Muchos atribuyen la invención del contenedor al estadounidense Malcom Mclean quien era transportista de New Jersey y que en realidad fue quien lo introdujo en el transporte de New York a Puerto Rico y Matson Line. La verdadera invención se les atribuye a unos ingenieros y empresarios canadienses unos pocos años antes, aunque, de hecho, ya existían contenedores en los Estados Unidos de América en la década de 1920, e incluso antes. Alfred H. Smith's New York Central fue la primera empresa en tener la idea de usar contenedores de madera, luego de acero, para el transporte de mercaderías por trenes y camiones luego de la Segunda Guerra Mundial.<sup>2</sup>

Según la mayoría de fuentes consultadas, el principal inconveniente antes de la invención de los contenedores marítimos era que la mercadería tenía que ser descargada de los camiones y ser trasladada por varias personas hacia el buque, trabajo que requería mucho tiempo y dinero, ante este problema Malcom Mclean decidió promover el uso de los contenedores inventando uno propio que se acomodara a las necesidades del momento.

El primer contenedor que Malcon Mclean fabricó era de acero y tenía 35 pies de largo, 8 pies de ancho y 8 pies de alto. El primer viaje de mercadería en

---

<sup>2</sup> BARÓN, Carlos. A.C: *Arquitectura de contenedores*. p 5.

un contenedor marítimos se realizó en el año de 1956 en un trayecto de New York a Houston.<sup>3</sup>

La aceptación del contenedor como instrumento de carga fue grande que Malcon Mclean fundó la compañía naviera “Sea Land”, empresa que en 1963 es la primera contenerizada iniciando con buques de uso múltiple con una capacidad menor a los 100 contenedores. Desde 1965 la ISO (*International Organization for Standardization*) es quien se encarga de la estandarización en la fabricación de los contenedores en aspectos como las dimensiones, capacidad de carga, diseño y todas las demás cualidades.<sup>4</sup>

Como indica Carlos Baron en su publicación *Arquitectura de contenedores* El contenedor marítimo, *container* marino o contenedor ISO fue bautizado por John Hunter como “*The Magic Box*” y desde su invención ha cambiado la vida de muchos y la economía a nivel mundial.

### **1.1.2. Antecedentes de contenedores utilizados como edificios habitacionales**

La utilización de contenedores marítimos como edificaciones es una idea que nació de la necesidad de manipular carga en el Ártico, ya que existía un inconveniente. Para ir a sacar la carga de los contenedores el operario tenía que salir a la intemperie y exponerse a las bajas temperaturas. Ante este problema se realizaron modificaciones a ciertos contenedores de tal manera que el piso,

---

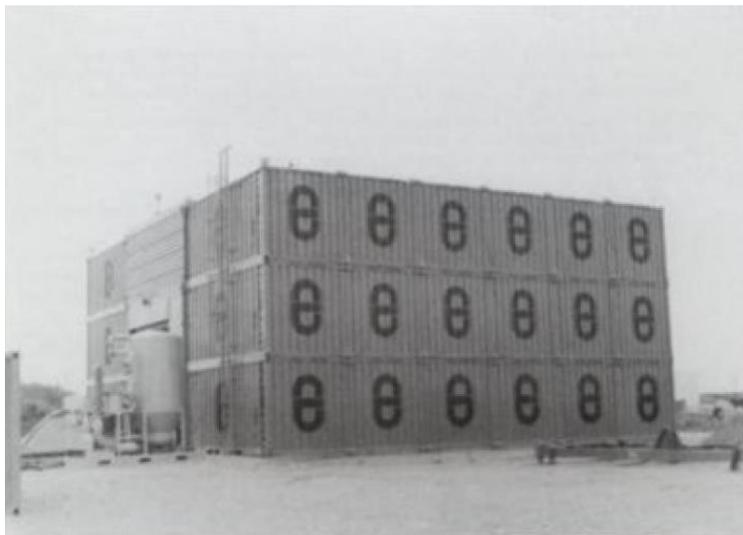
<sup>3</sup> *McLean y la caja que cambió el transporte de mercancías.* <https://www.tibagroup.com/mx/mclean-y-la-caja-que-cambio-la-historia-del-comercio>. Consulta: abril de 2016.

<sup>4</sup> *Historia y curiosidades del contenedor marítimos.* <http://grevillecontainers.com/informacion/datos-historia-contenedor.html>. Consulta: noviembre de 2015.

caras laterales y el techo fueran movibles y así poder apilar uno sobre otro, una vez retirada la carga del contenedor superior se moverían el piso y techo para acceder a la carga del contenedor inferior sin necesidad de salir al exterior. Al unir varios contenedores estos formaban un verdadero bloque que al mismo tiempo era un gran almacén en el cual los contenedores no eran independientes.<sup>5</sup>

El primer edificio de contenedores de la historia data de la década de 1950, era una bodega portátil para la carga de cemento, esta bodega estaba conformada por 80 contenedores de 20 pies y fue diseñado por la empresa canadiense *Steadman Industries*, empresa fundada por el ingeniero William David Steadman.

Figura 2. **El primer edificio de contenedores de la historia**



Fuente: *La construcción con contenedores marítimos*.

<https://www.veslcontenedores.com/construccion-con-contenedores>. Consulta: febrero 2016.

---

<sup>5</sup> *La construcción con contenedores marítimos*. <https://www.veslcontenedores.com/construccion-con-contenedores>. Consulta: febrero 2016.

Aunque existen muchas discrepancias en cuanto al origen de la construcción con contenedores, Juan Manuel de Ayarra indica en la página web [www.mimbrea.com](http://www.mimbrea.com), que el 23 de noviembre de 1987, un hombre llamado Phillip C. Clark, presentó una solicitud de patente en Estados Unidos, descrita como “Método para convertir uno o más contenedores metálicos marítimos en un edificio habitable en el lugar de construcción y el producto que de ello resulta”.<sup>6</sup> Esta patente le fue concedida el 8 de agosto de 1989, con el número 4854094. Parece haber sido la base sobre la que muchos diseños arquitectónicos posteriores se han inspirado.

Se sabe que los militares enviados a la Guerra del Golfo utilizaron los contenedores como refugios, protegiéndolos además con sacos de arena contra impactos de granadas, pero no existe una fecha, nombre o lugar en específico que se le atribuya la invención de casas con contenedores, aunque a inicios del año 2000 es cuando se vuelve una tendencia en Europa.

Desde entonces, empezó la utilización de contenedores como viviendas, aparecieron adeptos y también detractores. Con el pasar del tiempo este tipo de vivienda se vuelve una tendencia en Europa apoyada por el reciclaje, la necesidad de cuidar el ambiente y la lucha contra el calentamiento global. Fueron los arquitectos los que decidieron apoyar al contenedor como material de construcción, ya que vieron en este un objeto novedoso, moderno y fácil de acomodar a sus diseños. En vista del aumento de este tipo de construcción surge una nueva rama: la arquitectura de contenedores, término que toma fuerza al ser promovido en la revista *Container architectures*, Esta obra contiene 6 441 contenedores, fue escrita por Jure Kotnik y publicada en 2008.

---

<sup>6</sup> DE AYARRA, Juan Manuel. *La construcción con contenedores marítimos*. <http://www.mimbrea.com/construccion-con-contenedores-martimos/#sthash.fw9xUH4N.dpuf>. Consulta: diciembre de 2015

Actualmente, existen muchas edificaciones construidas con contenedores marítimos por lo que se mencionarán las más conocidas en el mundo:

- GAD: galería ubicada en un antiguo muelle del puerto Tjuvholmen de Oslo, Noruega. Diseñada por MMW Arquitects.

Figura 3. **Galería GAD**



Fuente: <http://trendcrib.tumblr.com/post/7627327079/shipping-container-design>. Consulta: febrero de 2016.

- Nomadic museum, museo que se encuentra en New York, EE.UU. diseñado por Shigeru *Ban Architects*.

Figura 4. ***Nomadic museum***



Fuente: <http://arqsea.com/shigeru-ban-arquitectura-de-carton-pritzker-2014/>. Consulta: febrero de 2016.

- *Papertainer museum*: museo ubicado en Seúl, Corea del Sur diseñado por Shigeru Ban Architects.

Figura 5. ***Papertainer museum***



Fuente: <http://egloos.zum.com/arthuremma/v/2718532>. Consulta: febrero de 2016.

- *HH cruise center*: terminal de pasajeros ubicada en *Hamburg Port*, Alemania y diseñado por *Render Haike Wirth Architekten*.

Figura 6. ***Hh cruise center***



Fuente: *Hamburg Cruise Center Hafencity*.

<http://www.hamburgcruisecenter.eu/en/gallery/hamburg-cruise-center-hafencity>. Consulta: febrero de 2016.

- *12 container house*: casa de campo ubicada en Brooklin, Maine, EE.UU. diseñada por Adam Kalkin.

Figura 7. **12 container house**



Fuente: *12 Container House / Adam Kalkin*. <http://ideasgn.com/architecture/12-container-house-adam-kalkin/>. Consulta: febrero de 2016.

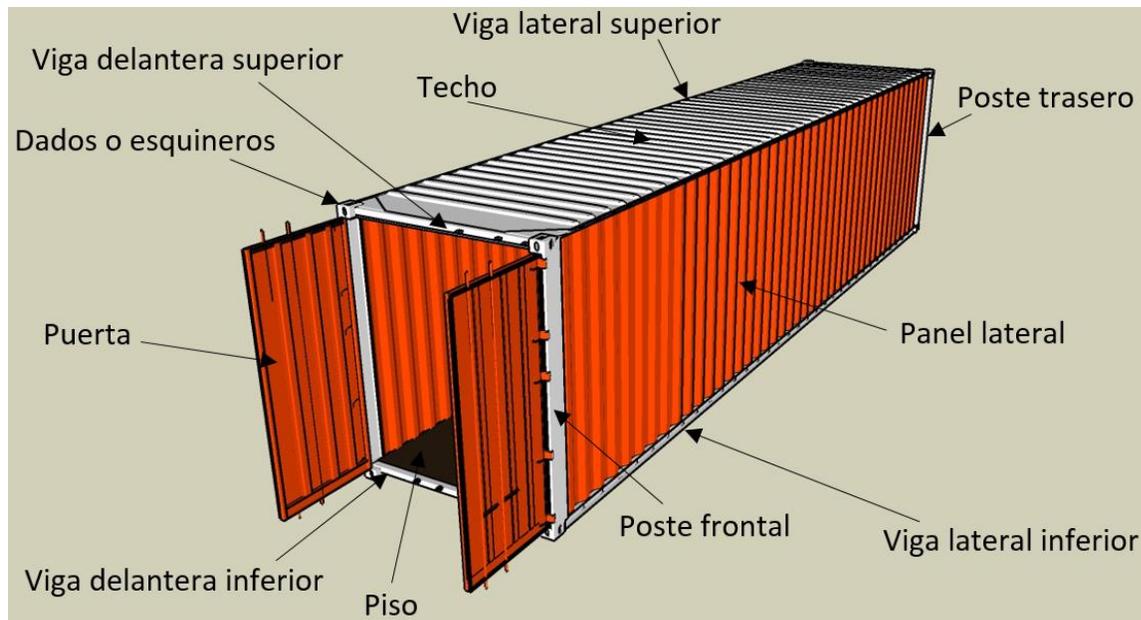
### **1.1.3. Datos técnicos de los contenedores marítimos**

Los contenedores marítimos o contenedores ISO están fabricados según las normas ISO, existen varias secciones, por lo que a continuación se describirá las normas ISO relacionadas con los contenedores.

- ISO 668: contenedores de carga, serie 1, clasificaciones y dimensiones externas.
- ISO 496/1: contenedores de carga, serie 1, especificaciones y ensayos.
- ISO 3874: contenedores de carga, serie 1, manejo y seguridad.
- ISO 6346: contenedores de carga, codificación, identificación y marcación.

Los principales materiales con los que se fabrican los contenedores son: acero, madera, fibra de vidrio y aluminio. La siguiente figura muestra las diferentes partes de los contenedores.

Figura 8. **Partes del contenedor**



Fuente: elaboración propia, empleando SketchUp 2017.

- Poste frontal y trasero: que son los componentes verticales del armazón, que ocupan las cuatro esquinas del contenedor están fabricados de acero de 10,00 mm de espesor.

Figura 9. **Poste frontal en contenedor desmantelado**



Fuente: elaboración propia, predio CLT, S.A, Villa Nueva.

- Viga delantera y trasera, travesaños superiores e inferiores: son los elementos que cierran los marcos de frente y fondo. El perfil más común es el “C” y tubo rectangular y tiene un espesor de 5,00 mm
- Vigas laterales superior: corresponden a las vigas superiores e inferiores que unen los postes de esquina, de frente y fondo, cerrando la estructura del contenedor lateralmente están construidos de tubos cuadrados de acero con un espesor de  $1/8$ ” y  $2 \frac{1}{2}$ ” de lado.
- Paneles laterales y techo: estos elementos están hechos de lámina troquelada de acero de 2 mm de espesor, electrosoldadas a las vigas laterales inferior y superior, este elemento es de gran importancia ya que es la encargada de aportar rigidez lateral al contenedor.

Figura 10. **Detalle de panel lateral y techo**



Fuente: elaboración propia. Empresa CLT, S.A.

- Viga lateral inferior: es el elemento estructural en el cual esta apoyadas las vigas del piso, está fabricado de viga perfil "C x 6" x 8,2 libras.

Figura 11. **Viga lateral inferior**



Fuente: elaboración propia, empresa CLT, S.A.

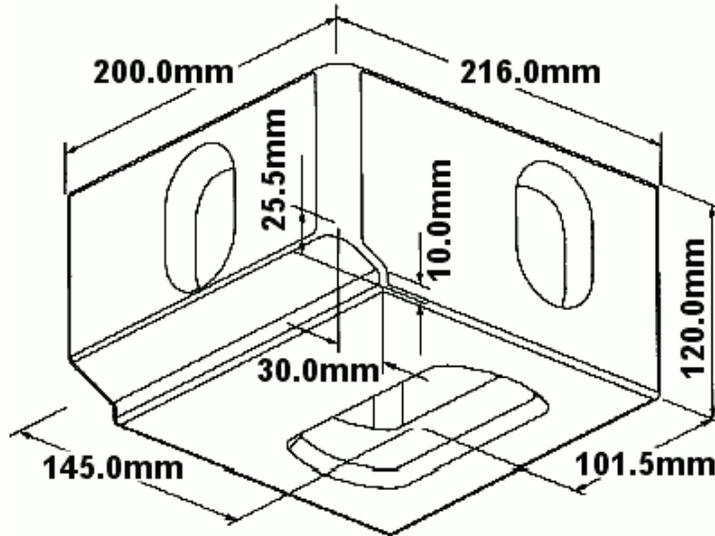
- Esquineros o dados: son los elementos de unión que se encuentran en los vértices del contenedor y que unen extremos del travesaño con los largueros y postes de esquina son comúnmente llamados “dados” o cantoneras. Estos esquineros son construidos en condiciones especiales de resistencia puesto que son los elementos diseñados para el manipuleo mecánico del contenedor, tanto vacío como lleno, sirviendo para izarlo, apilarlo y asegurarlo al medio de transporte.

Figura 12. **Fotografía de esquinero**



Fuente: elaboración propia. Empresa CLT, S.A.

Figura 13. Dimensiones de esquinero en milímetros



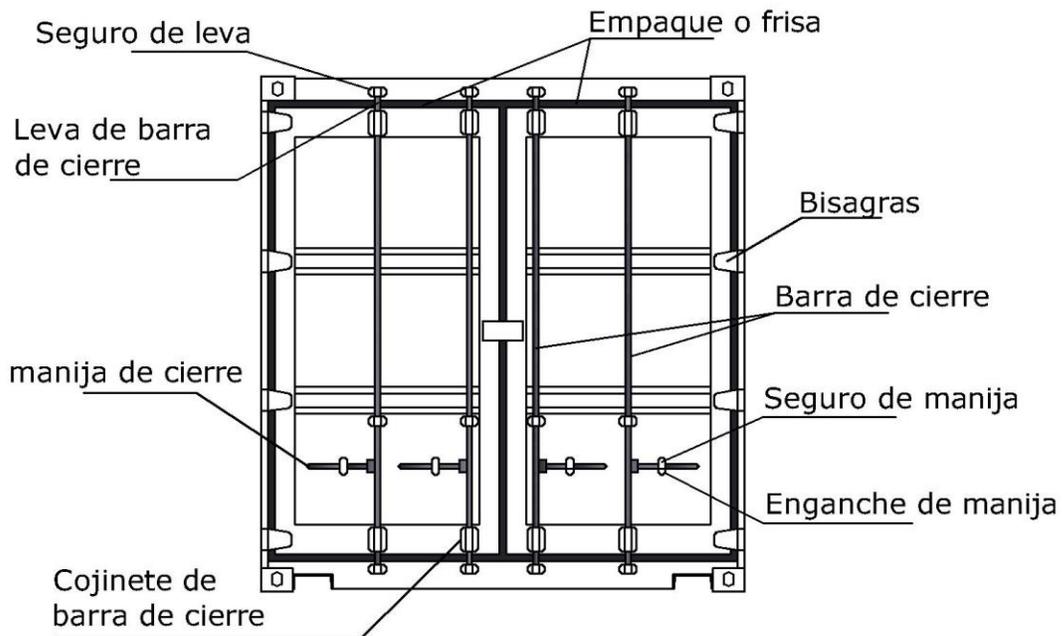
Fuente: <http://www.conpargroup.co.uk/images/large/european-overland-bottom-corner-castings.gif>. Consulta: noviembre de 2017.

- Travesaños del piso o bao: son vigas transversales dispuestas a una distancia promedio de 1,00 pies entre sí, que sirven para unir los largueros inferiores formando la base para apoyar el piso del contenedor. Son construidos con hierro U, T y Z. con espesores variados.
- Piso: está construido de madera contrachapada (*plywood*) de 1 1/2". Este tipo de *plywood* que trae el contenedor está tratado con insecticidas, para proteger la madera y asegurar su durabilidad.
- Puertas: la puerta del contenedor tiene diez piezas primordiales que son:
  - Paneles de puertas: está ubicadas en la parte trasera del contenedor. En ellas se encuentran ubicados los elementos de cierre de las puertas.

- Empaque o frisa: están adheridos a los bordes de la puerta asegurando el cierre hermético de las mismas, impidiendo que el agua pueda ingresar dentro del contenedor.
- Bisagras: asegurada por uno de sus extremos al poste esquinero sobre el que efectúa el movimiento de rotación, y por el extremo fijado por medio de tornillos, remaches o soldaduras, a la puerta externamente.
- Barra de cierre: construida de acero enterizo colocada verticalmente en ambas puertas.
- Cojinetes de barra de cierre: son molduras de acero que cumplen la función de sujetar la barra a la puerta permitiendo su movimiento.
- Manija de cierre: palanca de accionamiento de la barra de cierre.
- Enganche de manija: grapa fijada en la puerta que sujeta a la manija cuando está cerrada la puerta.
- Seguro de manija: grapa móvil que sirve para asegurar la manija. La manija, la grapa fija y la móvil tienen un orificio coincidente que permite la colocación de un candado o precinto, asegurando el cierre de la puerta.
- Leva de barra de cierre: pieza colocada en los extremos de la barra que se encuentra en su seguro al girar la misma, cuando se cierra la puerta.

- Seguro de leva: pieza fijada en los travesaños superior e inferior del fondo del contenedor, para sujetar la leva al cerrar la puerta.

Figura 14. Partes de la puerta



Fuente: elaboración propia, AutoCAD 2017.

Las medidas de los contenedores difieren en cuanto a su tipo y uso. La norma ISO 668 establece las dimensiones estándares para la mayoría de estos, que se resumen en la siguiente tabla.

Tabla I. **Dimensiones de contenedores norma ISO 668**

	<b>LARGO</b>		<b>ANCHO</b>	<b>ALTO</b>	
<b>Dimensiones exteriores</b>	6 058 mm	12 192 mm	2 438 mm	2 438 mm	2,591 mm
	20'	40'	8'	8'	8'6"
<b>Dimensiones interiores</b>	5 867 mm	11 998 mm	2 330 mm	2 197 mm	2 350 mm
	19'3"	39'4 3/8"	7'7 3/4"	7'2 1/2"	7'8 1/2"
<b>Apertura de la puerta contendor estándar</b>			2 286 mm	178 mm	2 261 mm
			7'6"	7"	7'5"

Fuente: elaboración propia.

### **1.1.3.1. Tipos de contenedores marítimos o contenedores ISO**

Debido a los diferentes tipos de cargas que necesitan ser transportados ya sea líquidos, sólidos, secos o refrigerados es necesario adecuar los contenedores a estas necesidades, por lo tanto, existen diferentes tipos de contenedores.

Dry Van: su uso principal es la carga seca: bolsas, cajas, máquinas muebles, etcétera.

Figura 15. **Dry Van 40 pies**



Fuente: elaboración propia. Empresa S&T, S.A, Zona 2 Villa Nueva, Guatemala.

Figura 16. **Dry Van 20 pies**



Fuente: elaboración propia. Empresa S&T, S.A, Zona 2 Villa Nueva, Guatemala.

Tabla II. **Características de contenedores Dry Van**

TAMAÑO	PESO Kg.		Carga útil	DIMENSIONES mm		
	Peso bruto	Tara		Largo	Ancho	Alto
<b>Contenedor 20'</b>	24 000	2 200	21 800	5 902	2 350	2 392
<b>Contenedor 40'</b>	30 480	3 300	26 680	12 032	2 350	2 390

Fuente: elaboración propia.

- *High cube*: este contenedor se utiliza para el mismo tipo de carga que el Dry Van, con la diferencia que tiene mayor altura permitiendo transportar mayor volumen, pero no le da mayor capacidad de carga.

Figura 17. **Contenedores *high cube***



Fuente: elaboración propia, Empresa S&T, S.A, zona 2 Villa Nueva, Guatemala.

Tabla III. **Características *high cube***

TAMAÑO	PESO Kg.			DIMENSIONES mm		
	Peso bruto	Tara	Carga útil	Largo	Ancho	Alto
<b>Contenedor 40'</b>	30 480	3 900	26 580	12 033	2 350	2 695

Fuente: elaboración propia.

- *Open top*: su principal característica es que se abre por el techo. Se utiliza para carga que por su tamaño no puede ingresar por las puertas, como maquinaria, vidrio, rocas, etc.

Tabla IV. **Características del *open top***

TAMAÑO	PESO Kg.			DIMENSIONES mm		
	Peso bruto	Tara	Carga útil	Largo	Ancho	Alto
<b>Contenedor 20'</b>	24 000	2 140	21 860	5 894	2 344	2 347
<b>Contenedor 40'</b>	30 480	3 700	26 780	12 027	2 344	2 347

Fuente: elaboración propia.

- *Bulk*: su principal uso es el transporte de producto a granel, el cual se introducen por unas aperturas ubicadas en el techo. Productos como granos, fertilizantes o plásticos en grumos son transportados en este tipo de contenedor.

Tabla V. **Características del *bulk***

TAMAÑO	PESO Kg.			DIMENSIONES mm		
	Peso bruto	Tara	Carga útil	Largo	Ancho	Alto
<b>Contenedor 20'</b>	24 000	2 800	21 200	5 888	2 332	2 338

Fuente: elaboración propia.

- FLAT-Plataformas plegables: son utilizadas para cargas de bobinas, perfiles metálicos, maquinaria, cargas de difícil manipulación, equipo que sobrepasa el ancho o alto de los otros tipos de contenedores y que no se dañan con la exposición a la intemperie.

Tabla VI. **Características de la plataforma plegable**

TAMAÑO	PESO Kg.			DIMENSIONES mm		
	Peso bruto	Tara	Carga útil	Largo	Ancho	Alto
<b>Contenedor 20'</b>	25 400	3 080	22 320	5 988	2 398	2,231
<b>Contenedor 40'</b>	45 000	5 300	39 700	12 064	2 369	1,943

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **FLAT**



Fuente: elaboración propia. Empresa S&T, S.A, zona 2 Villa Nueva, Guatemala.

- *Open side*: tiene la misma función que el *open top*, se le utiliza para carga especial que no puede ingresar por las puertas, con la diferencia que la apertura de este contenedor es lateral.

Tabla VII. **Características del *open side***

TAMAÑO	PESO Kg.			DIMENSIONES mm		
	Peso bruto	Tara	Carga útil	Largo	Ancho	Alto
<b>Contenedor 40'</b>	25 400	2 930	22 470	5 896	2 310	2 255

Fuente: elaboración propia.

- *Reefer*: su principal uso es el transporte de productos perecederos, frutas, verduras, carnes, etcétera. La mayoría de contenedores están hechos de acero y esta es una de las diferencias del *Reefer* que regularmente está construido en aluminio con un interior de fibra de vidrio que sirve como

aislante térmico, además de llevar incorporado en la parte delantera todo el sistema de enfriamiento. Solo es necesaria la alimentación eléctrica (suministrada por un generador diésel) para el enfriamiento interno del contenedor.

Figura 19. **Reefer**



Fuente: elaboración propia, Predio S&T, S.A, zona 2 Villa Nueva, Guatemala.

Tabla VIII. **Características reefer**

TAMAÑO	PESO Kg.			DIMENSIONES mm		
	Peso bruto	Tara	Carga útil	Largo	Ancho	Alto
<b>Contenedor 20'</b>	25,400	2,870	22,530	5,460	2,240	2,225
<b>Contenedor 40'</b>	32,500	4,535	27,965	11,550	2,250	2,215

Fuente: elaboración propia.

- *Reefer high cube*: este tipo de contenedor sirve para producto perecedero con la diferencia al *reefer* que este tiene mayor capacidad de volumen no así de peso.

Figura 20. **Reefer high cube**



Fuente: elaboración propia, Predio S&T, S.A, zona 2 Villa Nueva, Guatemala.

Tabla IX. **Característica reefer high cube**

TAMAÑO	PESO Kg.			DIMENSIONES mm		
	Peso bruto	Tara	Carga útil	Largo	Ancho	Alto
<b>Contenedor 20'</b>	32,500	4,630	27,870	11,583	2,286	2,554

Fuente: elaboración propia.

- **ISO Tank:** está diseñado para el transporte de material líquido industrial, material tóxico, corrosivos, combustibles, o productos alimenticios; vinos, aceites, agua, cerveza, etcétera

Figura 21. ISO Tank



Fuente: elaboración propia, Predio S&T, S.A, Zona 2 Villa Nueva, Guatemala.

Tabla X. Características del ISO Tank

TAMAÑO	PESO Kg.			DIMENSIONES mm			vol. Litros
	Peso bruto	Tara	Carga útil	Largo	Ancho	Alto	capacidad
<b>Contenedor 20'</b>	30,480	3,070	27,870	5,902	2,350	2,392	21,000

Fuente: elaboración propia.

### 1.1.3.2. Capacidad de carga

La capacidad de carga de un contenedor varía dependiendo del tipo de contenedor y es el peso neto que puede transportar.

Como el contenedor de interés para la construcción de edificaciones es el Dry Van, que según la ISO 6346 la capacidad de carga es de 26 600 kg para el

contenedor de 40 pies estándar o *High cube* y de 21 800 kg para el contenedor Dry Van de 20 pies.

Si se toma en cuenta que en un buque portacontenedores se hacen pilas de diez unidades de altura para el transporte por mar, formando con ellos un edificio de diez niveles, se tiene que el contenedor inferior es capaz de soportar el peso de los otros nueve contenedores cargados con mercaderías sin deformarse, no tomando en cuenta su propio peso, ya que el piso de este reposa directamente en el buque. Esto daría como resultado que el contenedor inferior soporta un peso total de 274 320 kg, considerando que el peso bruto de un contenedor Dry Van de 40 pies es de 30 480 kg.

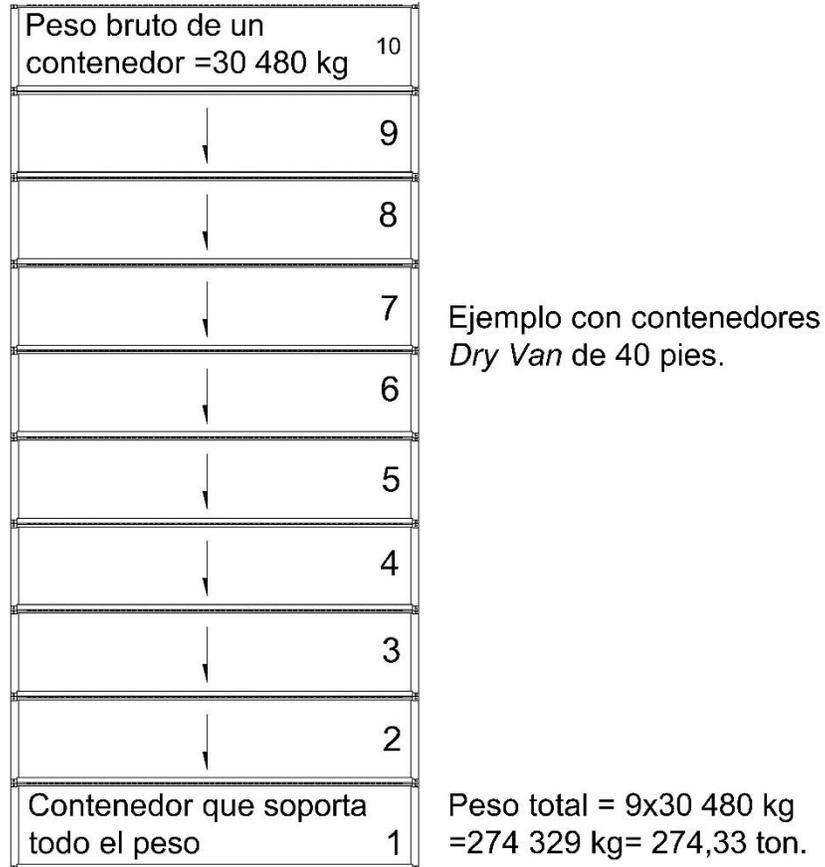
Figura 22. **Buque portacontenedores**



Fuente: [http://www.info-transportes.com.mx/media/k2/items/cache/6503b8bba24ac83ccad201b1abf0e501\\_XL.jpg](http://www.info-transportes.com.mx/media/k2/items/cache/6503b8bba24ac83ccad201b1abf0e501_XL.jpg).

Consulta: noviembre de 2017.

Figura 23. **Peso sobre primer contenedor en un buque**



Fuente: elaboración propia.

De igual manera en un buque un contenedor *Dry Van* de 20 pies soporta el peso bruto de nueve contenedores con un peso total de 216 000 kg.

### **1.1.3.3. Requerimientos internacionales para contenedores marítimos**

Como se ha mencionado en los capítulos anteriores la entidad en regular la construcción, dimensión, capacidad de carga y el manejo es la ISO (*International Organization for Standardization*) en las normas ISO 668, ISO 496/1, ISO 3874 e ISO 6346.

Aunque la mayoría de normas sobre los contenedores están regidas por la “*International Organization for Standardization*” existen otros requerimientos sobre los contenedores, en cuanto a su limpieza y manejo.

### **1.1.3.4. Manipulación y transporte de los contenedores marítimos**

Por las dimensión y peso de todo contenedor su manipulación y transporte se debe realizar con maquinaria pesada.

Los equipos más utilizados en las terminales de almacenaje para el levantamiento y montaje de los contenedores son: montacargas, portacontenedores y grúa.

- El montacargas utiliza para la elevación unas cuchillas frontales que se introducen en la parte inferior de un contenedor elevándolo por medio de una torre hidráulica y es capaz de hacer pilas máximas de dos niveles, este equipo es operado por una persona y no necesita de asistencia. Uno de los grandes inconvenientes con el montacargas es la ruptura de los paneles laterales debido a impactos con las cuchillas frontales, ocasionadas regularmente por error del operario.

Figura 24. **Montacargas**



Fuente: elaboración propia, empresa CLT, S.A, Santo Tomás de Castilla, Izabal.

- El portacontenedores utiliza unos brazos hidráulicos ajustables a diferentes medidas que se acoplan y aseguran al contenedor por los dados o esquineros para su posterior elevación, y es capaz de realizar pilas de 5 niveles dependiendo del modelo y tamaño. Este es el equipo más recomendable para el manejo de contenedores por su precisión al momento del acomodo en las terminales o montaje sobre el remolque. Brindando seguridad ya que sujeta el contenedor por los dados y no existen peligro de ruptura de paneles por impactos.

Figura 25. **Portacontenedores**



Fuente: elaboración propia, empresa CLT, S.A. Santo Tomas de Castilla Izabal.

- La grúa realiza la elevación del contenedor por medio del aseguramiento de cables a los dados. Este equipo no es muy utilizado por las empresas de terminales de contenedores, ya que se necesita de más personal que un montacargas o un portacontenedor para elevación, aunque es el equipo más utilizado para la elevación y colocación de contenedores en lugares donde los equipos anteriores no pueden ingresar.

Figura 26. **Grúa elevando un contenedor**



Fuente: elaboración propia, predio S&T, S.A, zona 2 Villa Nueva.

Para transportar el contenedor marítimo por las carreteras el único equipo usado es el camión tipo cabezal, estos tienen una capacidad de arrastre de hasta 50 toneladas equivalentes a 50 000 kilogramos.

Figura 27. **Cabezal movilizando un contenedor de 20 pies**



Fuente: elaboración propia, empresa CLT, S.A. Santo Tomas de Castilla

- Remolque para contenedor. Es el equipo donde van colocados los contenedores para ser arrastrados por el cabezal y tiene regularmente dos ejes. Para cargas muy pesadas es común utilizar remolques de tres ejes, en la parte delantera tiene un elemento llamado Pivote que es por donde se une al camión para formar camión articulado. Los remolques son nombrados por los trabajadores del transporte pesado como “arañas”

Figura 28. **Contenedor de 20 pies sobre un remolque de tres ejes**



Fuente: elaboración propia, predio CLT, S.A. Villa Nueva.

## **1.2. Sistemas constructivos de contenedores**

A pesar de que la construcción de contenedores es una tendencia en las ciudades portuarias de diferentes partes del mundo, no existe una forma específica o norma que regule la construcción. Toda la construcción está limitada únicamente por la creatividad de los constructores.

La forma constructiva más común es el apilado de los contenedores marítimos formando bloques unidos entre sí, con aperturas para ventanas y puertas, colocándolos a modo de bloques Lego y todas las instalaciones se realizan sobrepuestas.

La creación de oficinas administrativas es lo más común en empresas que manejan estos contenedores, especialmente navieras, empresas de transporte intermodal o terminales de contenedores, que teniendo estos como materia prima le realizan los vanos para puertas y ventanas, instalación eléctrica e instalan sistemas de aire acondicionado y tienen como resultado un lugar para realizar sus operaciones.

Sabiendo que un contenedor es un elemento de acero que fue diseñado para proteger mercaderías incluso durante los accidentes de tránsito, es común pensar que un contenedor es casi indestructible o por lo menos lo suficientemente fuerte para resistir los embates de la naturaleza, tales como huracanes, tornados, terremotos, etcétera.

Tomando en cuenta que un contenedor es una caja de acero, se verá la principal forma de construcción que se maneja comúnmente

### **1.2.1. Método constructivo de contenedores marítimos para uso habitacional**

El método constructivo estará basado en los contenedores *Dry Van* de 20 pies y 40 pies. Para convertir un contenedor en una casa, apartamento o cualquier uso habitacional es necesarios conocer los siguientes parámetros: Uso, cantidad de ocupantes, niveles, localización, geografía, clima. Teniendo en cuenta lo anterior se puede proceder al diseño arquitectónico que es la base para el diseño estructural y la construcción de la edificación.

Ya definido un diseño arquitectónico y el diseño estructural se procede a la realización del proyecto siguiendo un procedimiento lógico:

- Cálculo de cargas
- Cimentación
- Instalación de contenedores
- Apertura de vanos
- Refuerzos estructurales
- Instalaciones sanitarias y eléctrica
- Acabados

Para iniciar con el análisis constructivo con un contenedor como elemento estructural se tiene que saber cómo se distribuyen las fuerzas. Se sabe que toda carga es apoyada directamente al piso, este los trasmite a las vigas laterales inferiores, las vigas laterales transfieren la carga a los postes y dados, siendo los dados los transmisores finales ya sea al suelo o al equipo que lo transportará.

Además, se debe saber que los únicos elementos capaces de transferir las cargas axiales en un contenedor son los postes y los dados, Estos trabajan a

compresión en un buque o terminal cuando soporta el peso de los contendores superiores y trabaja a flexión cuando es elevado por los portacontenedores para su manipulación. Los paneles laterales y el techo aportan rigidez a los postes y a la viga lateral, por lo que es difícil que el poste sea sometido a cargas excéntricas.

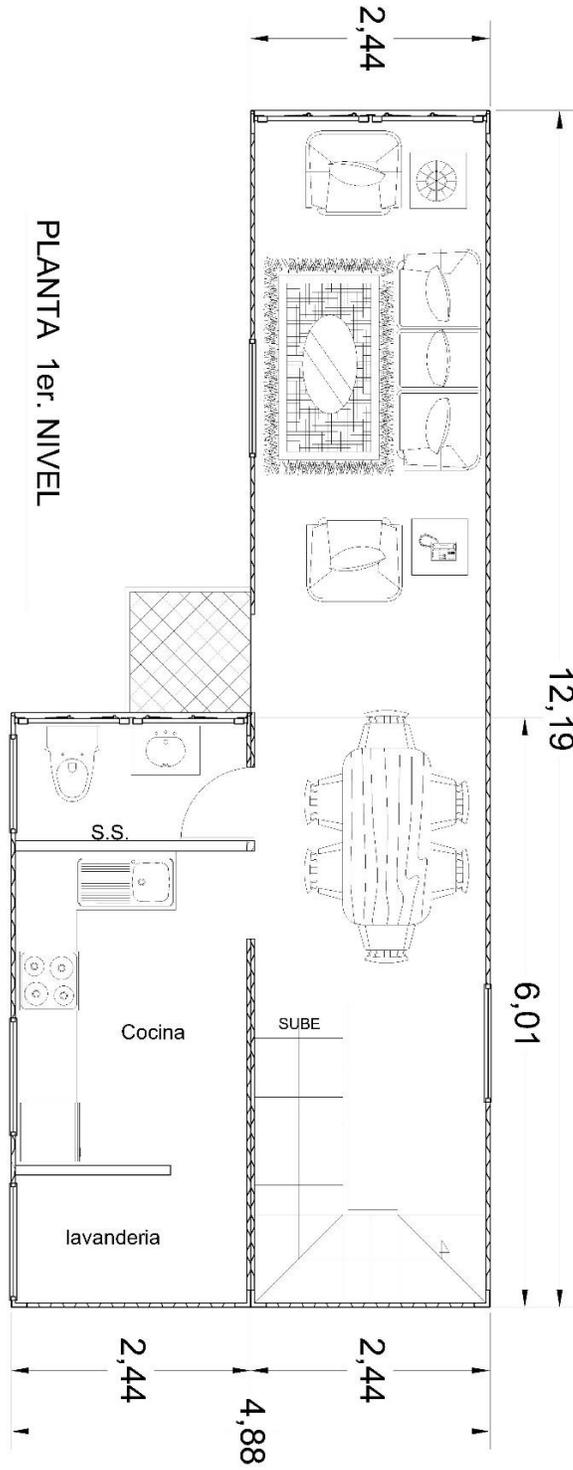
Figura 29. **Distribución de cargas en un contenedor**



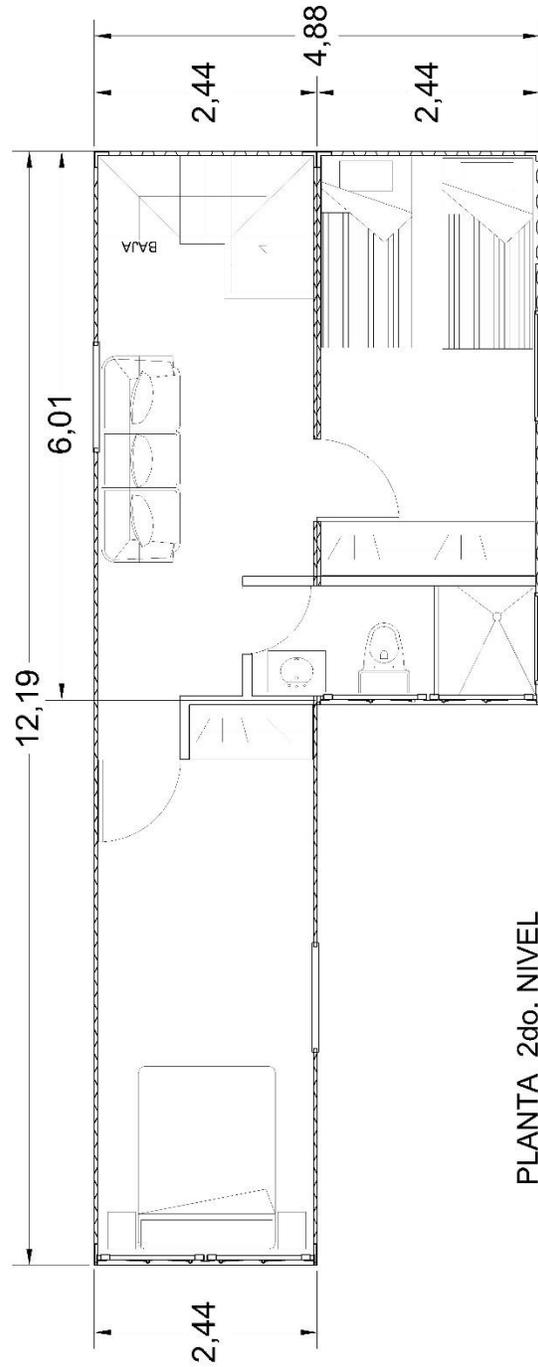
Fuente: elaboración propia, empleando ScketchUp 2017.

Para continuar con el análisis y diseño de los elementos estructurales que conformaran la edificación es necesario tener un diseño arquitectónico que sirva de base. A continuación, se muestra un diseño arquitectónico que se utilizara para los cálculos y que está conformado por dos contendores Dry Van de 40 pies y dos Dry Van de 20 pies, que corresponde a una casa habitacional para 4 personas.

Figura 30. Plantas arquitectónicas de edificación base

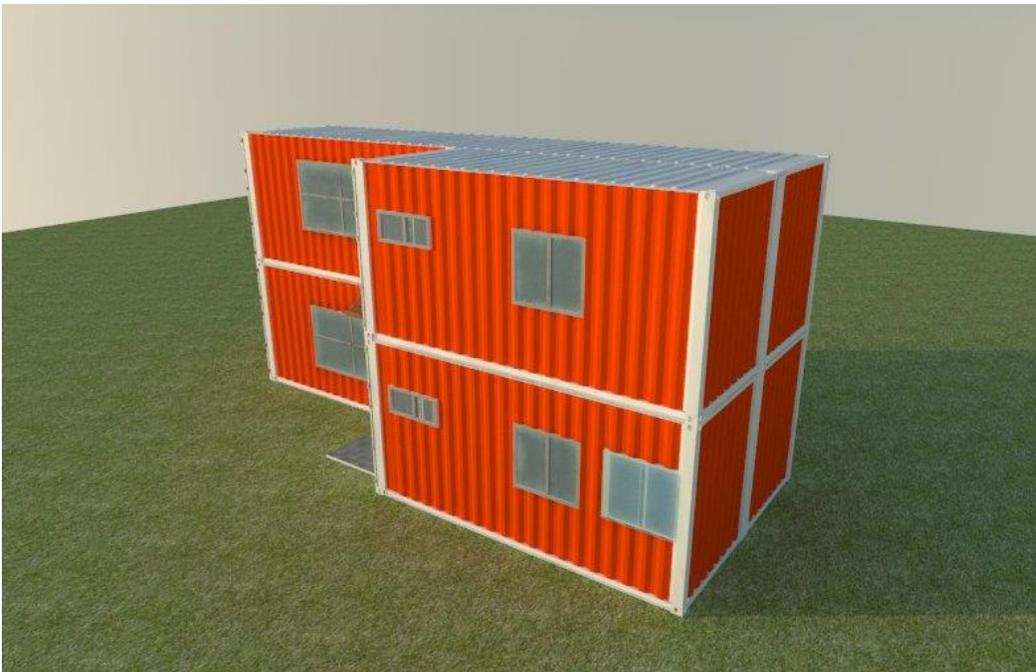


Continuación de figura 30.



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Figura 31. **Vistas arquitectónicas**



Fuente: elaboración propia, empleando SketchUp 2017.

### 1.2.1.1. Integración de cargas para contenedores marítimos

Si desea utilizar un contenedor como elemento habitacional se tienen que utilizar las cargas de diseño que se emplearían para este fin, por eso se usarán las cargas descritas en el AGIES NSE 2 tabla 3-1 que establece como carga viva de 200 kg/m<sup>2</sup> equivalentes a 40 libras/ft<sup>2</sup> para entresijos residenciales. Si se deseara usar el contenedor como oficinas, aulas, cafeterías se tendría que cambiar las cargas de diseño a las indicadas por la normativa del AGIES.

Para el diseño estructural se utilizará el método de diseño por esfuerzo permisible (ASD: *Allowable Strength Design*) métodos proporcionados en las especificaciones AISC.

Con el método ASD, las cargas se acumulan, tal como estén, sin utilizar factores de reducción. Estas fuerzas totales no deben ser mayores que las resistencias nominales de los elementos, divididas por factores de seguridad apropiados. La ecuación queda de la siguiente manera:

$$R_n/\Omega \geq R_a$$

Donde:

R<sub>n</sub>= resistencia nominal.

R<sub>a</sub>=resistencia actuante.

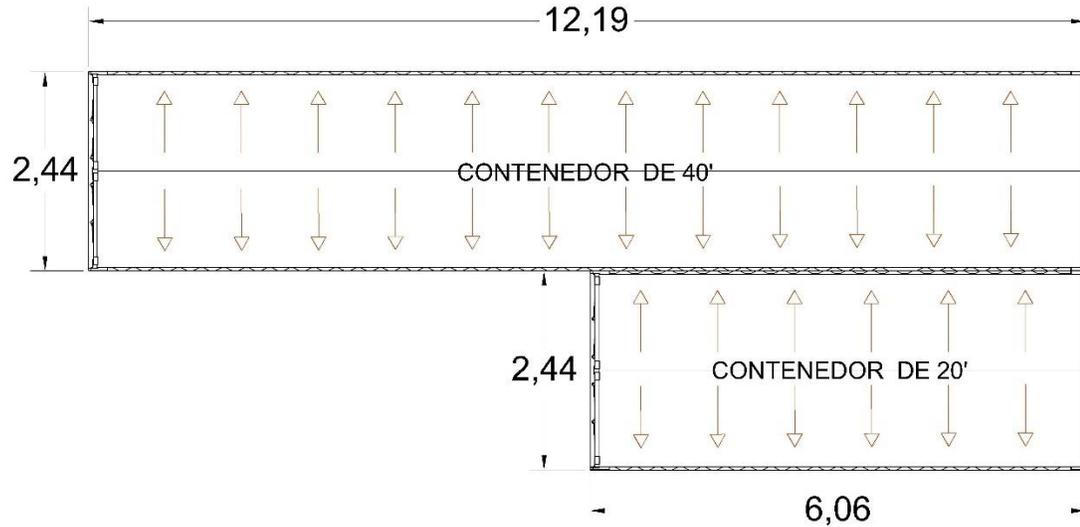
Ω = factor de seguridad.

Tabla XI. Resumen de tabla 3-1 Agies NSE 2-10

Tipo de ocupación o uso	W <sub>v</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	P <sub>v</sub> (kg)
Vivienda		
Balcones	500	
Habitaciones y pasillos	200	
Escaleras	300	
Oficina		
Pasillos y escaleras	300	
Oficinas	250	800
Áreas de cafetería	500	
Hospitales		
Pasillos	500	450
Clínicas y encamamiento	250	
Servicios médicos y laboratorio	350	800
Farmacia	500	
Escaleras	500	
Cafetería y cocina	500	
Hoteles		
Habitaciones	200	450
Servicios y áreas públicas	500	800
Educativos		
Aulas	200	400
Pasillos y escaleras	500	
Salones de Lectura de Biblioteca	200	400
Área de estanterías de Biblioteca	700	800
Reunión		
Escaleras privadas	300	Ver 3.3(d)
Escaleras públicas	500	Ver 3.3(d)
Balcones	500	
Vestíbulos públicos	500	
Plazas a nivel de la calle	500	800
Salones con asiento fijo	300	
Salones sin asiento fijo	500	800
Escenarios y circulaciones	500	
Garajes		
Garajes para automóviles de pasajeros	250	Ver 3.3(c)
Garajes para vehículos de carga (2,000 Kg)	500	Ver 3.3(c)
Rampas de uso colectivo	750	Ver 3.3(c)
Corredores de circulación	500	Ver 3.3(c)
Servicio y reparación	500	Ver 3.3(c)

Fuente: AGIES NSE 2-10 TABLA 3-1.

Figura 32. **Planta: distribución de cargas en los contenedores**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Como el primer nivel y el segundo son simétricos y tendrán el mismo uso, se consideran las mismas cargas vivas, así como la distribución de cargas. Sea  $C_u$  = carga última.

Tabla XII. Integración de cargas para contenedor de 40 pies

Cargas	Cálculo
Ac <sup>4</sup> =área de contenedor de 40 pies	2,44 m x12,19 m = 29,77 m <sup>2</sup>
Cv= carga viva (Tabla XI, AGIES) =	200 kg/m <sup>2</sup>
Carga muerta=Cm=	Cm=peso del contenedor +peso de instalaciones
Peso contenedor (tabla II) =	Pc= 3,300.00 kg
Carga de contenedor= Pc/ área	= 3 300 kg/29,768m <sup>2</sup> = 110,86 Kg/m <sup>2</sup>
Instalaciones	=15,00 Kg/m <sup>2</sup>
Carga muerta =	=110,86+15.00=125,86 kg/ m <sup>2</sup>

Integración de cargas método ASD		
combinación	Cálculo	Valor
Cu= Cm		200,00 Kg/m <sup>2</sup>
Cu= Cm+Cv=	200 kg/m <sup>2</sup> + 125,60kg/m <sup>2</sup> =	325,60 Kg/m <sup>2</sup>
Carga última de diseño = Cu		325,60 Kg/m <sup>2</sup>
Las combinaciones de sismo y viento no se incluyeron ya que serán analizadas en el diseño de la cimentación, las cargas de nieve tampoco fueron colocados por pertenecer a un país de la zona tropical.		

Fuente: elaboración propia.

Con el valor de Cu se puede calcular el peso total de diseño del contenedor Dry Van de 40 pies:

$$Pu^4 = Ac^4 * Cu$$

$$Pu^4 = 29,77 * 325.60 = 9\ 693,11 \text{ Kg.}$$

En el caso de los contenedores de 40 pies de largo es recomendable colocar apoyos en los cuatro esquineros además de apoyos centrales para evitar pandeos debidos a la apertura de puertas o ventanas que debiliten o hagan perder la rigidez del contenedor.

Tabla XIII. **Integración de cargas para contenedor de 20 pies**

CARGAS	Cálculo	valor
$A_c^2 =$ área de contenedor de 20 pies.	2,44 m x 6,06 m =	14.79 m <sup>2</sup>
$C_v =$ carga viva =	Tabla XI	200 kg/m <sup>2</sup>
Carga muerta = $C_m =$	$C_m =$ peso del contenedor + peso de instalaciones	
Peso contenedor = $P_c$	Tabla II	2 200,00 kg
Carga de contenedor	$P_c /$ área = 3 300 kg / 29,768 m <sup>2</sup> =	148,75 Kg/m <sup>2</sup>
Instalaciones	Criterio propio	15,00 Kg/m <sup>2</sup>
$C_m =$	148,75 kg/m <sup>2</sup> + 15,00 kg/m <sup>2</sup> =	163.75 kg/ m <sup>2</sup>

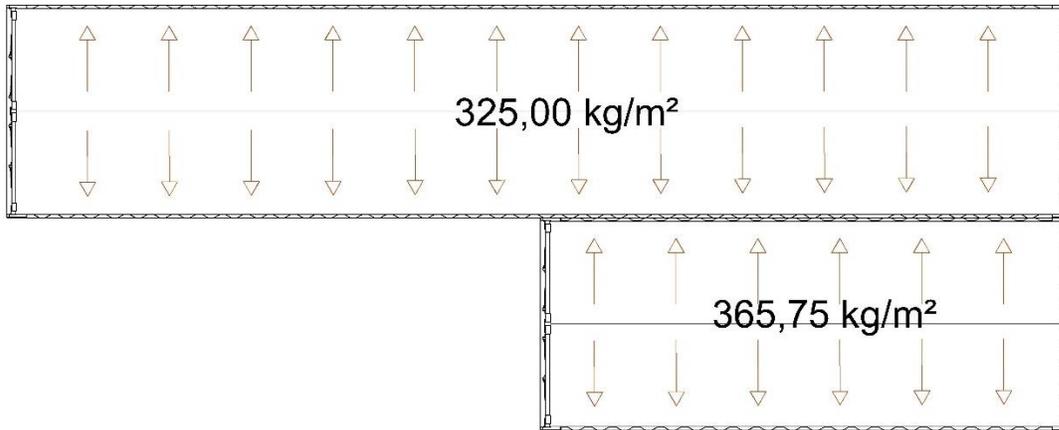
Integración de cargas método ASD		
combinación	Cálculo	Valor
$C_u = C_m$		200,00 Kg/m <sup>2</sup>
$C_u = C_m + C_v$	200 kg/m <sup>2</sup> + 163,75 kg/m <sup>2</sup>	363,75 Kg/m <sup>2</sup>
Carga última de diseño = $C_u$		363,75 Kg/m <sup>2</sup>

Fuente: elaboración propia.

El peso total de diseño de un contenedor Dry Van de 20 pies sería:

$$P_u^2 = A_c^2 * C_u = 14,79 \text{ m}^2 * 365,75 \text{ kg/m}^2 = 5 409,44 \text{ kg.}$$

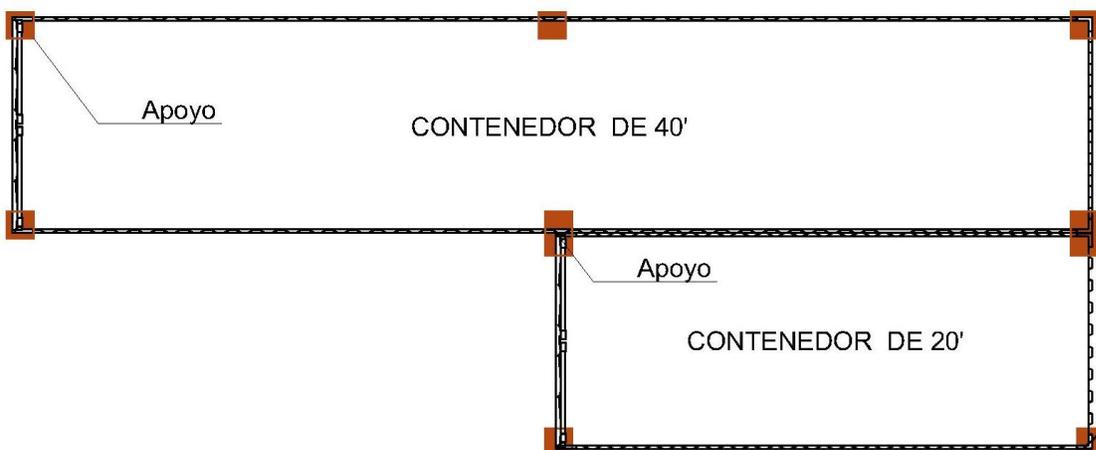
Figura 33. **Cargas en los contenedores**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Los planos arquitectónicos indican que los paneles laterales del contenedor tendrán vanos para ventanas y puertas. Es lógico pensar que esto debilitara al contenedor, especialmente al contenedor de 40 pies. Debido a eso se recomienda poner apoyo en la parte central de cada lado para reducir la luz a 6,00 metros como se muestra en la siguiente figura.

Figura 34. **Distribución de apoyos en contenedores**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

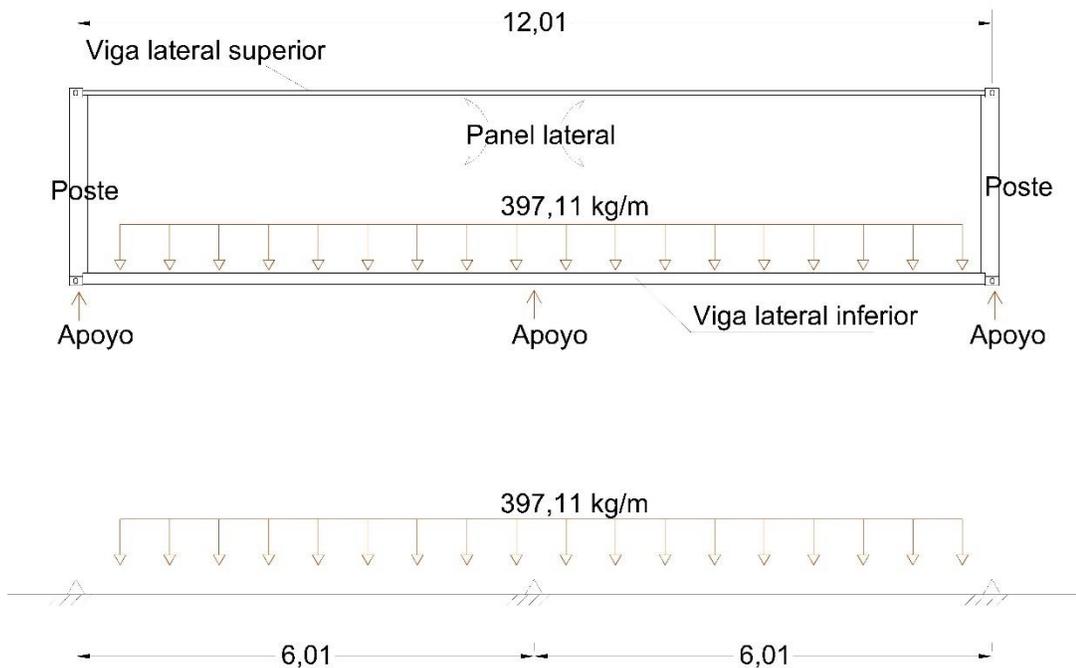
Teniendo definido los puntos de apoyo se pueden determinar las reacciones en cada apoyo.

Si se analiza la distribución de cargas en la figura 32, se puede ver que el peso total se divide en dos, distribuyéndose en los paneles laterales, por lo que se deduce que cada panel lateral soporta la mitad de la carga total. Se representa  $W =$  carga distribuida en cada panel lateral, donde  $W = C_u \cdot \text{Ancho}/2 = (C_u \cdot A_c/2)$ .

$$W = 325,5 \text{ kg/m}^2 \cdot (2,44 \text{ m}/2) = 397,11 \text{ kg/m}$$

$$W = 397,11 \text{ kg/m.}$$

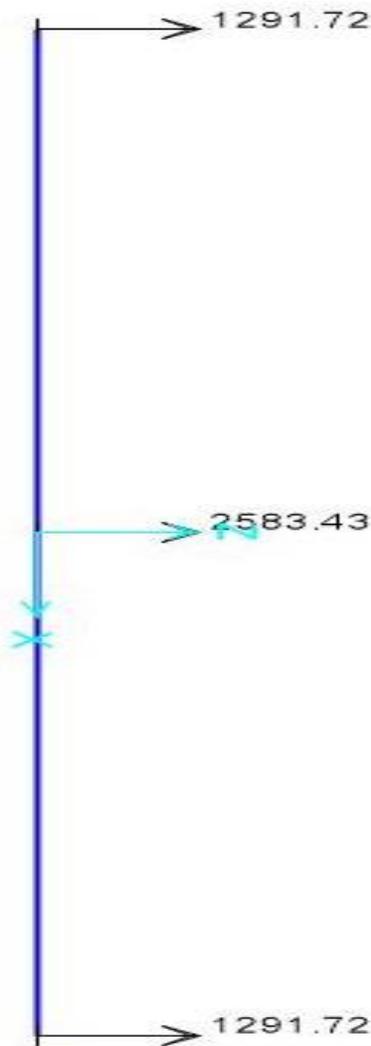
Figura 35. **Carga distribuida en panel lateral**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

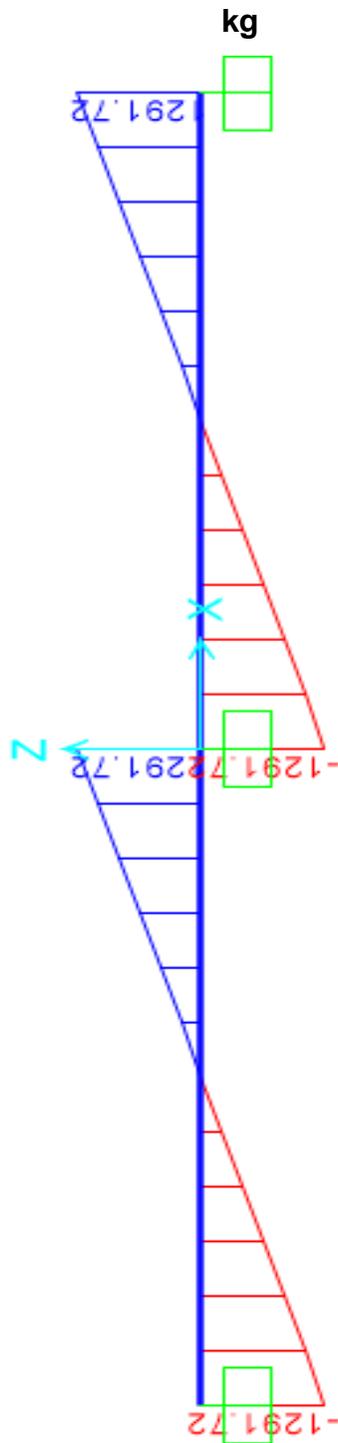
El contenedor por ser un cubo rígido transmite toda su carga a los esquineros o dados, estas partes son las que más sobresalen del contenedor, en el caso del contenedor de 40 pies tendrá además los apoyos centrales, siendo en total 6 apoyos. En base a lo anterior se presenta los siguientes diagramas.

Figura 36. **Diagramas reacciones contenedor de 40 pies en kg**



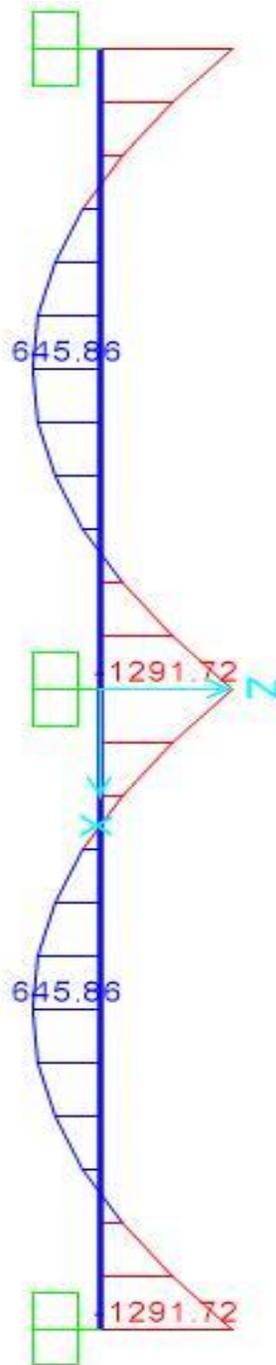
Fuente: elaboracion propia, empleando SAP2000 v.15.1.0

Figura 37. Diagrama de corte de contenedor de 40 pies en



Fuente: elaboracion propia, empleando SAP2000 v.15.1.0.

Figura 38. **Diagrama de momentos de contenedor de 40 pies**  
en kg-m



Fuente: elaboración propia, empleando SAP2000 v.15.1.0.

En el caso del contenedor de 20 pies no es necesario colocar apoyos en el centro por lo que el peso total se distribuirá en 4 apoyos, estos apoyos son los esquineros o dados. se tiene entonces que cada dado soporta  $\frac{1}{4} Pu^2$ , sea  $Cd^2$ = carga en cada apoyo del contenedor de 20 pies.

$$Cd^2= 5\,379,86 \text{ kg}/4 = 1\,344,97 \text{ kg}$$

Al revisar las distribuciones de apoyos se observa que los contenedores tienen dos apoyos en común, debido a esto estos apoyos reciben mayor carga que los otros apoyos, siendo la carga del apoyo central en común  $Cd' = Cd'^2 + Cd'^4$ .

$$Cd' = 1\,344,97 \text{ kg} + 2\,583,43 \text{ kg} = 3\,928,40 \text{ kg}$$

En el caso del apoyo en común con en los esquineros sería:

$$Cd'' = Cd''^2 + Cd''^4$$

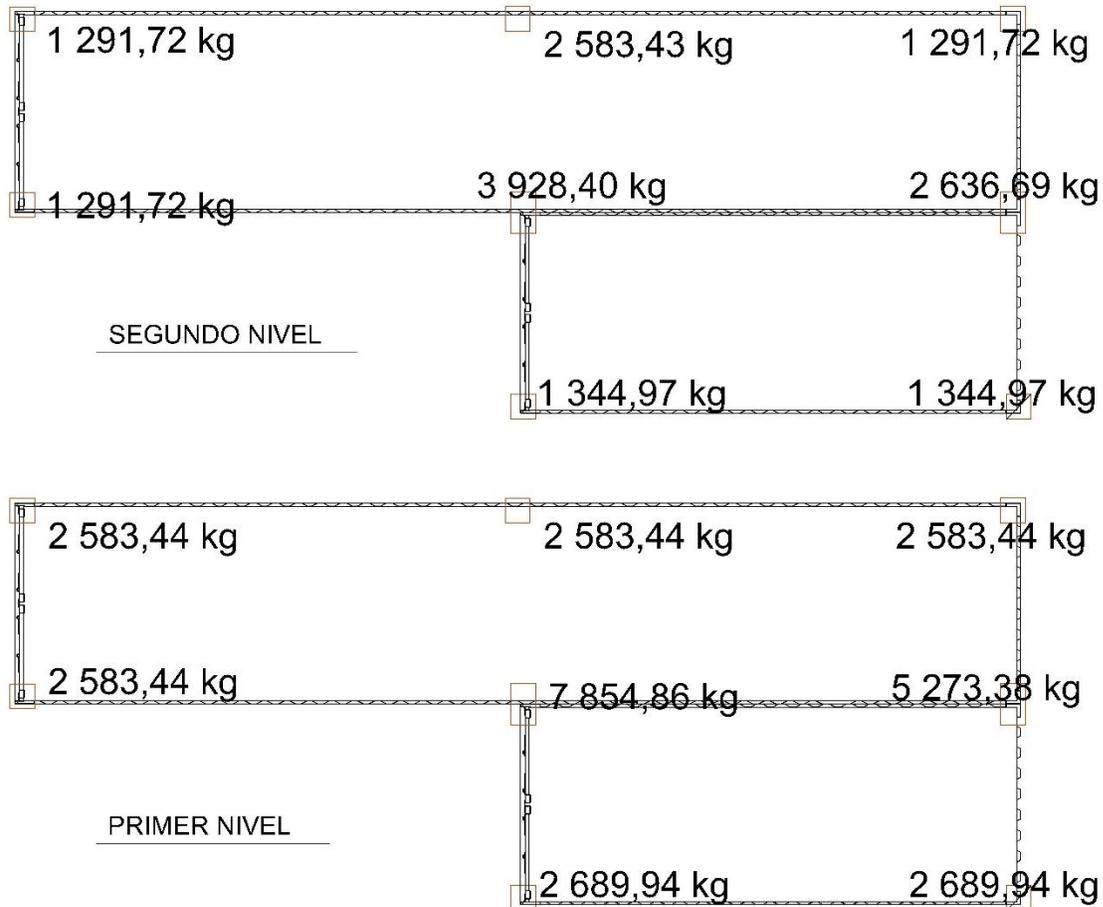
$$Cd'' = 1\,344,97 \text{ kg} + 1\,291,72 = 2\,636,69 \text{ kg}$$

De la gráfica de momentos se tienen los máximos que soportará el contenedor, se tienen los momentos en la parte central de los claros entre apoyos de  $Ma^{4''} = 646.86 \text{ kg-m}$  en el segundo nivel. Por lo tanto, el contenedor del segundo nivel soportará el doble de carga y momento. Siendo el momento en el primer nivel de  $Ma^{4'} = 1\,293,72 \text{ kg-m} = 1,29 \text{ ton-m}$ .

Al ser los dos niveles similares en cuanto a forma y distribución de cargas, se puede asumir que los apoyos del primer nivel soportarán en doble de carga. Hay que aclarar que los apoyos del segundo nivel son los puntos donde se unen los contenedores del primero y el segundo nivel, estos son los esquineros. Y los apoyos en el nivel son la unión entre los esquineros y los cimientos.

En base a los resultados obtenidos se muestran las cargas transmitidas a los apoyos

Figura 39. Cargas en apoyos por nivel



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

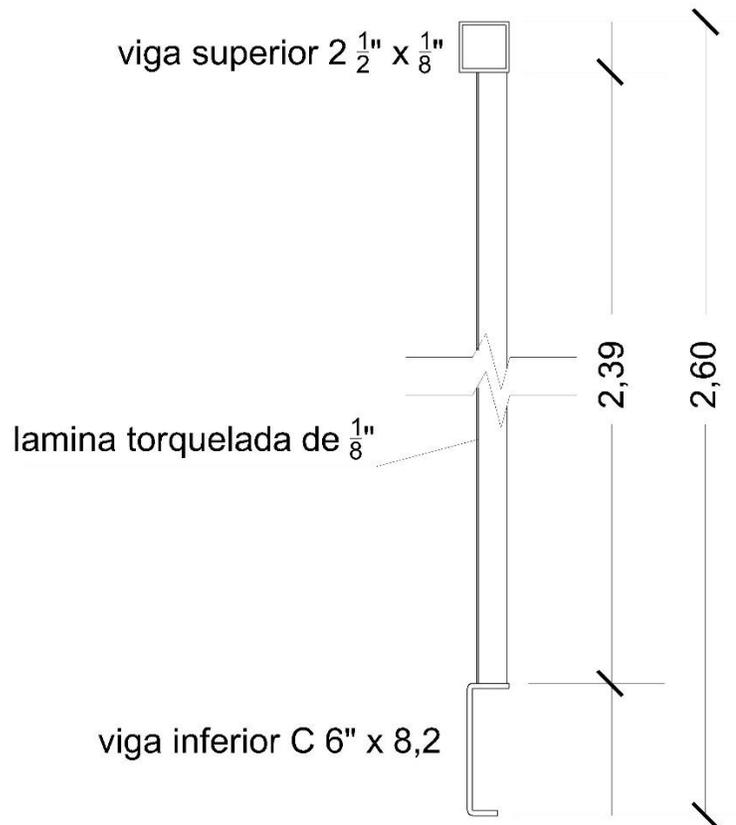
El momento actuante en el contenedor de 20 pies del segundo nivel será  $M_{a^{4''}} = 646,86 \text{ kg-m}$  que es el mismo que uno de los tramos del contenedor de 40 pies, ya que las cargas actuantes son las mismas, así como la longitud entre apoyos.

Se sabe que el primer contenedor soportará el doble de carga que el contenedor del segundo nivel por lo que el  $Ma'$  en el primer nivel será de:

$$Ma^4 = 646,86 \text{ kg-m} * 2 = 1\,293,72 \text{ kg-m} = 1,29 \text{ ton-m.}$$

Hay que recordar que el panel lateral está conformado por lámina troquela de 2,00 milímetros de espesor la viga lateral inferior por un perfil C 6"x8,2 libras y la viga lateral superior por un tubo cuadrado de 2 1/2" de 1/8" de espesor. Este conjunto vigas-panel forma una viga compuesta y se puede calcular su resistencia aproximada.

Figura 40. **Detalle en sección de panel lateral**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Del diagrama anterior se tiene que encontrar el eje neutro de toda la sección que sabiendo que la ecuación es  $X = \frac{\sum A \cdot x}{\sum A}$ .

Donde A es el área de cada elemento y "x" es la distancia al centroide de cada figura.

$A^1 =$  área de viga C = 2,4 in<sup>2</sup> (dato obtenido de tablas AISC)

$A^2 =$  área de lámina =  $(2,39 \text{ m} \cdot (3,28 \text{ pies} / 1,00 \text{ m}) \cdot (12 \text{ " / 1 pie})) \cdot 1/8 \text{ "} = 11,76 \text{ in}^2$

$A^3 =$  área de viga superior =  $(2,5 \text{ "})^2 - (2,5 \text{ "} - 1/8 \text{ "})^2 = 0,61 \text{ in}^2$

Calculado la distancia del eje neutro de cada elemento respecto de la parte inferior.

$$x^1 = 6 \text{ " / 2} = 3,00 \text{ "}$$

$$x^2 = 6 \text{ " + (2,39 m (3.28 pie/1,00 m) (12 \text{ " / 1 pie})) / 2} = 53,06 \text{ pulgadas.}$$

$$x^3 = 6 \text{ " + 94,07 \text{ " + (2,5 \text{ " / 2})} = 101,32 \text{ pulgadas.}$$

Entonces:

$$X = \frac{(3 \cdot 2,4) + (53,06 \cdot 11,76) + (0,61 \cdot 101,32)}{(2,4 + 11,76 + 0,61)} = 46,91 \text{ pulgadas}$$

Teniendo estos datos se puede calcular la inercia del panel compuesto por las vigas y la lámina troquelada utilizando el teorema de Steiner.

$I = \sum (i + Ad^2)$ , donde:

I = inercia total.

i = inercia de cada figura.

A = área.

d = peralte.

$I' = 1/12 (bh^3) + A' d^2$  como es un cuadrado y es un tubo habría se considera únicamente en espesor del tubo.

Donde:

b=base

h=altura.

$$I' = 3,1 \text{ in}^4 + 2,4 \text{ in}^2 (46,91-3)^2 = 4 630,51 \text{ in}^4$$

$$I^2 = 1/12(1/8*94,07^3) + 11,76((94,07/2) - 46,91)^2 = 8 671,44 \text{ in}^4$$

$$I^3 = 1/12 (2,5'' - 1/8'')^4 + 0,61 \text{ in}^2 (101,32-46,91)^2 = 1 808,52 \text{ in}^4$$

$$I = 4 630,51'' + 8 671,44'' + 1 808,52'' = 15,110.47 \text{ in}^4$$

En base a estos datos se puede calcular el momento nominal= $M_n$  que puede soportar este panel, si  $M_n = F_b * I / c$ , siendo  $C =$  peralte de panel.

$$F_b = f_y / 1.27 = 36 000/1,27 = 28 316,17 \text{ psi.}$$

Sí 1,27 = factor de reducción según método ASD.

$C =$ peralte de panel de contendor= 46,9''

$$M_n = (28,316.7 \text{ psi} * 15,110.47 \text{ in}^4) / 46.9'' = 9 132 799,0 \text{ lb-in} = 9 132 \text{ kip-in}$$

$$M_n = 105 469,32 \text{ kg-m} = 105 \text{ ton-m}$$

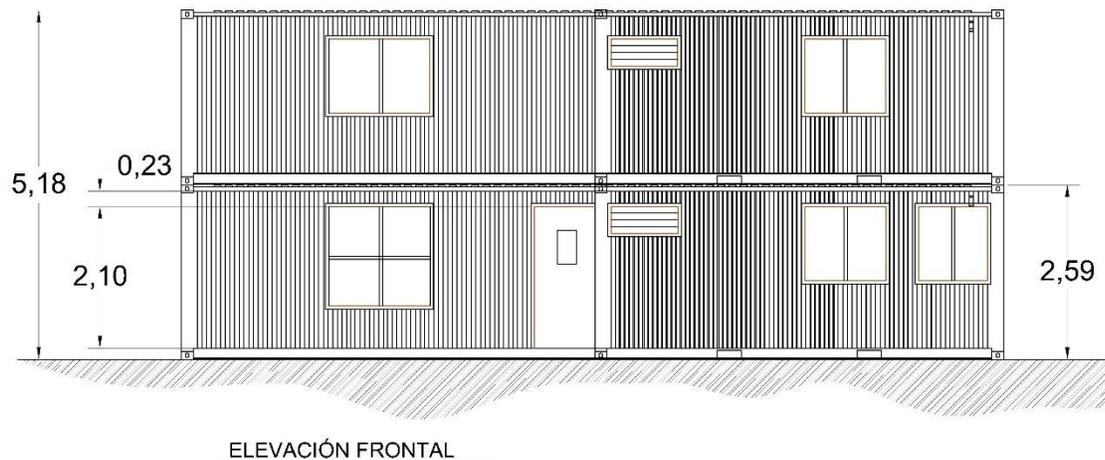
Este momento nominal ( $M_n$ ) es mucho mayor que el momento actuante máximo,  $M_a' = 3.70 \text{ ton-m}$  que ocurre en el primer nivel. Por lo que se concluye que:  $M_n > M_a'$ .

Los datos anteriores obtenidos comprueban que el contenedor es un elemento muy resistente, a pesar de que el panel es muy esbelto en la parte de la lámina troquelada. La forma troquelada de la lámina ayuda a que el panel

lateral no tenga deformaciones en el lado angosto. Hay que recordar que en la figura 22 se indica que los contenedores inferiores de una pila en los buques soportan un peso total de 216,00 toneladas demostrando su resistencia.

Al utilizar los contenedores como elementos constructivos es lógico que se abran vanos para puertas y ventanas esto reducirá la resistencia del panel lateral como el caso del diseño arquitectónico base para este diseño.

Figura 41. **Vanos en contenedores**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Al observar la imagen anterior se puede ver que, en el primer nivel donde se encuentra la puerta de ingreso existe la parte crítica, dicha puerta se encuentra en el contenedor de 40 pies, que es la parte en la que menor área de panel existe y por ser el primer nivel soporta las cargas críticas, aunque según indica el diagrama, no es el punto donde sucede el mayor momento. En este caso, se puede considerar que la viga inferior soporta la mitad de las cargas y los 23 centímetros de dintel junto con la viga superior soportan la otra mitad de la carga.

Por lo que cada elemento independiente en el primero nivel soportará un máximo de  $M_a^4/2 = 1,29 \text{ ton-m} / 2 = 0,64 \text{ ton-m}$ .

Primero se verificará si la viga inferior es capaz de soportar por sí sola el momento de 0,64 ton-m sabiendo que esta viga es un perfil C 6"x8,2 libras.

Tabla XIV. **Propiedades de viga lateral inferior**

Propiedades perfil C 6"x8.2		
h=	6	in
I=	13.1	in <sup>4</sup>
c=	3	in
fb=	Fy/1.27	
fy=	36000	lb/in <sup>2</sup>
Cálculo de momento nominal $M_n = (fb \cdot I) / c$		
Mn=	123,779.53	lb-in
Mn=	1,429.47	kg-m
Mn=	1.43	Ton-m

Fuente: *Shapes properties: Manual of Steel Construction\_Load and resistance factor desing.*  
American Institute of Steel Construction. tabla 1-5.

Se puede concluir que solo la viga inferior es capaz de soportar por sí sola el momento de local de 0,64 ton-m, incluso es capaz de soportar el momento máximo de piso de  $M_a^4 = 1,29 \text{ ton-m}$ .

Un caso común es poner dos contenedores juntos y que se retiren los paneles laterales para realizar un solo ambiente y obtener una habitación más amplia. En este caso la viga inferior soportaría el momento máximo producido por las cargas ocupacionales, pero no la viga superior que está constituida por un tubo rectangular de 2,5" x 2,5". Ante esto se recomienda dejar un dintel de panel lateral como se ve en la figura 39, mínimo de 30 cm o agregar un perfil WF 8 "x12 libras como viga para evitar deformaciones del techo.

Figura 42. **Contenedor sin panel lateral**



Fuente: elaboración propia, empresa CLT, S.A.

Teniendo en cuenta que un buque portacontenedores transporta en promedio un total de 1 200 contenedores y se realizan pilas de hasta 10 o 12 contenedores de altura, de todos estos los únicos que se aseguran son los contenedores que se colocan alrededor del bloque completo por medio de barras de amarre.

Por lo tanto, los instalados en el centro de estos bloques se mantienen estables por la fuerza de fricción entre los esquineros, manteniéndose así a pesar de estar sometidos a los fuertes vientos y oleaje en los océanos, debido a su estabilidad. En las terminales de almacenaje de contenedores se realizan pilas sin necesidad de fijarlos o unirlos, manteniendo su equilibrio muy bien.

Por ello, se podría pensar que para uso constructivo no es necesario fijar los contenedores, pero esto dependerá del uso que se le dará y las condiciones ambientales a las que será sometido. Si el contenedor para uso habitacional se

piensa retirar o mover en un futuro es recomendable el uso de pernos *twistlock* o barras de amarre, si se piensa dejar fijo la opción más idónea es la soldadura.

Hay que considerar que si el contenedor se utilizará en una zona altamente sísmica hay que darles elasticidad a las uniones, pero esto también se logra soldando dos esquineros continuos del contenedor y dejando los otros dos sin soldar. En el caso de los contenedores de 40 pies se dejarían 3 apoyos sin soldar y en el caso del contenedor de 20 pies se soldarían únicamente 2 apoyos de cuatro. Para fijar un contenedor con otro se realiza por medio de soldadura, pernos, *Twistlock* y barras de amarre.

Antes de unirlos hay que tomar en cuenta la unión se recomienda hacer en los esquineros y también entre la viga lateral superior del contenedor inferior y la viga lateral inferior del contenedor superior, esto con el fin de evitar pandeos del piso superior debido a las cargas ocupacionales.

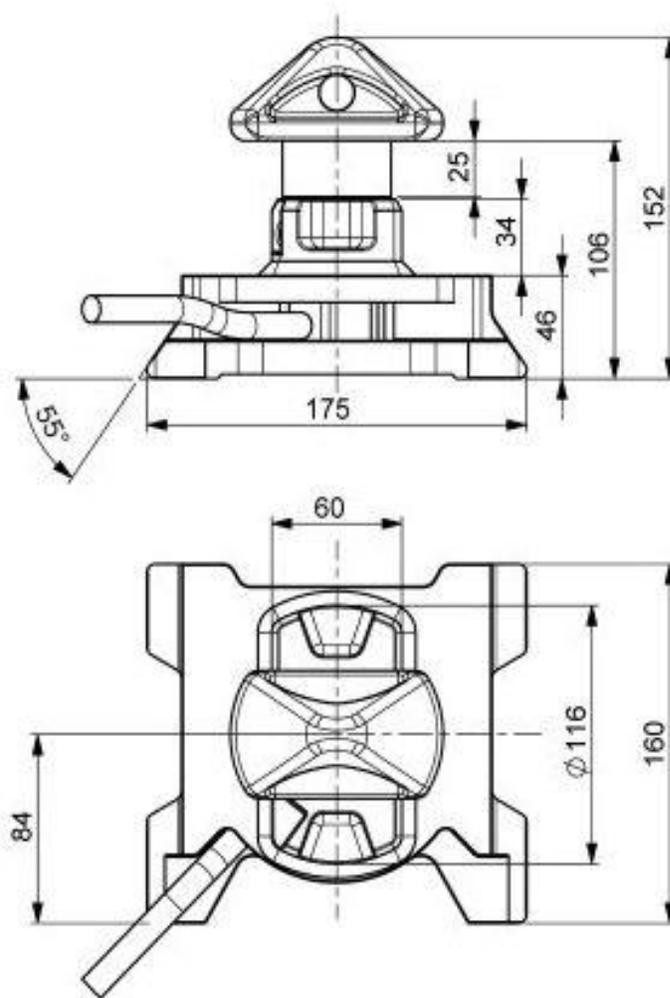
#### **1.2.1.2. Cimentación para contenedores**

La cimentación para un contenedor es un tanto simple, ya que el esquinero simplemente descansa sobre una base a la cual no le trasmite momentos, por lo que se consideraría un apoyo simple. Es común encontrar un contenedor que es utilizado como bodega colocado directamente al suelo, pero esto ocasiona asentamientos debido a la poca área de contacto con el suelo, además de contribuir a la corrosión del contenedor.

Algunas veces se requiere que el contenedor quede fijo al lugar, ya sea para evitar corrimientos laterales provocadas por fuerzas inducidas o empujes provocados por sismos, vientos o fuerzas del ambiente, entonces se utiliza soldadura para fijar el contenedor a la base o cimiento. Otras veces se fijan por

medio de tornillos, pernos o también se pueden fijar por medio de los *twistlock* que son mecanismos de amarre entre contenedores cuando se encuentran a bordo de los buques portacontenedores. y es el encargado de fijar el contenedor a la plataforma de arrastre.

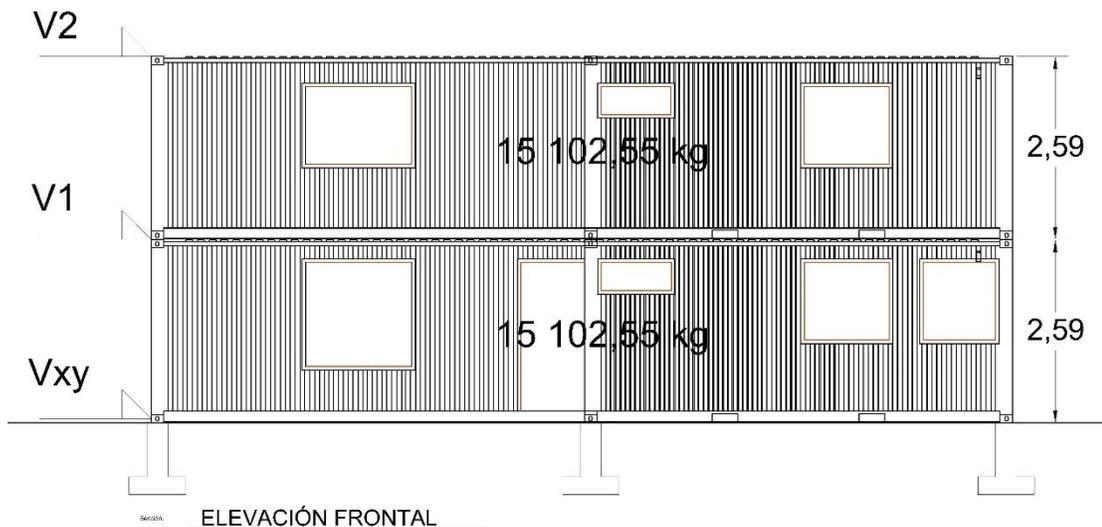
Figura 43. **Detalle de Twistlock, dimensiones en milímetros**



Fuente: Container Technics. <http://www.nauticexpo.com/prod/container-technics/product-32424-432713.html>. Consulta: noviembre 2017.

Para dimensionar una cimentación es necesario conocer todas las fuerzas que afecten al contenedor, y una de ellas son las fuerzas por sismo. A continuación, se realizará el cálculo del contante basal.

Figura 44. Fuerzas de sismo



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Se sabe que cada piso tiene un peso total  $W$  de 15 102,55 Kg = 15,10 ton ya que cada nivel está compuesto por un contenedor de 20 pies y uno de 40 pies. Por lo que el peso total de la estructura es de  $W_t=30\ 205,10$  kg. El método utilizado es el indicado en el código UBC 1997, edición en español, así como las tablas indicadas. Del mismo código se extrajeron los siguientes datos:

- Factor sísmico utilizado  $F_s = 0,4$  tabla 16.1.
- Factor de importancia sísmica  $I = 1,0$  estructuras para destino estándar, tabla 6-k.

- Sistemas estructurales: muros de estructuras ligeras con paneles de cortante.  $R=6,5$  ,  $\Omega=2,8$  tabla 16-N.
- Coeficiente de sismicidad tabla 16-Q, suelo tipo Sc y  $Ca=0,4$  Na.
- Tabla 16-R,  $z=0-4$  ,  $Cv=0,56Nv$ .
- Tabla 16-S factor de cercanía a la fuente, (falla activa en el valle de Guatemala es la de San Cristóbal) distancia de 5 km. Tipo de sismo A,  $Na=1.2$ .
- Tabla 16-T,  $Nv=1.6$ .

Con estos datos se procede a realizar el cálculo.

$$T=0.0488(ht)^{3/4} = 0,03(5,8)^{3/4} = 0,1823$$

Se utilizará  $T=0,2$

$$V=(Cv*I/RT)^* = (0,56*1,6*1,0) / (6,5*0,18) = 0,76$$

$$V=2,5 (Ca*I) / R = (2,5*0,40*1,5*1,0) / 6,8=0,22$$

$$V=0,11*Ca*I=0,11*2,5*0,4*1,0=0,11$$

$$V=0,8(0,4*1,0*1,5*1,0) / 6,5 = 0,007$$

Se utilizará  $V=0.22$ ,  $Vxy=$  cortante basal

$$Vxy=0,22*30\ 205,10\ kg = 6\ 645,12\ kg = 6,64\ ton.$$

Tabla XV. **Cálculo de cortante basal**

N	W	h	W*h	Cte.*W*h
2	15 102,55 kg	5,18 m.	78 231,21	4 430,08 kg
1	15 102,55 kg	2,59 m.	39 115,60	2 215,04 kg
$\Sigma$			117 346,81	6 645,12 kg

Fuente: elaboración propia.

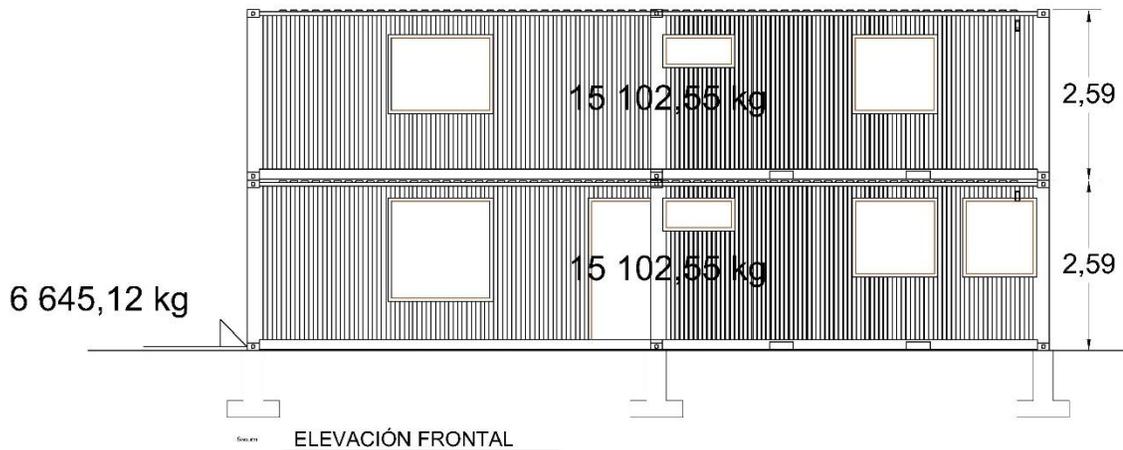
Donde:

W= carga por piso.

h= altura de piso.

Cte.= $6\ 645,12/117\ 346,81=0,05663$

Figura 45. **Cortante basal**

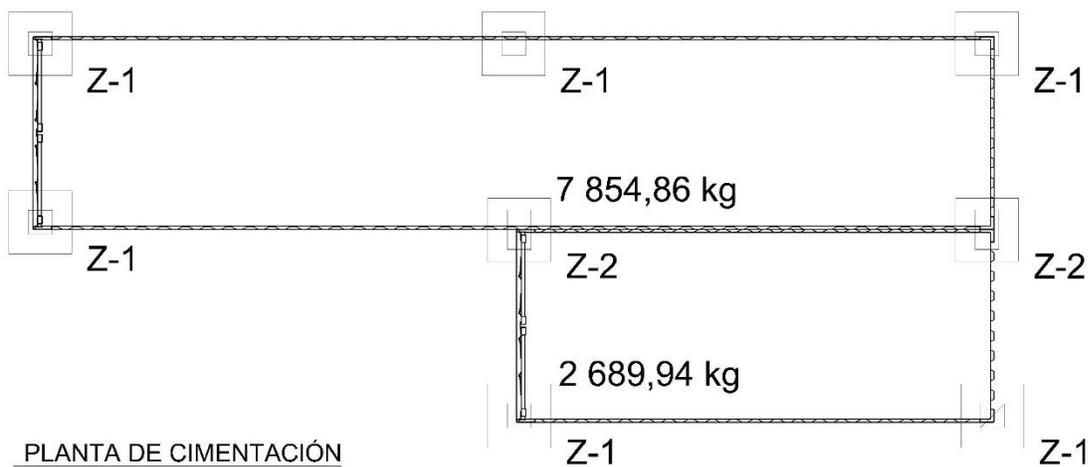


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Este cortante basal se dividen entre el número de bases, que son 8, y se tiene la fuerza lateral que soportarán las bases.  $6\ 645,12\text{ kg} / 8 = 830,64\text{ kg} = 0,83\text{ ton}$ .

Teniendo las fuerzas que actúan en la cimentación, se puede proceder al diseño, debido a que existen dos puntos donde se apoyarán los dos contenedores al mismo tiempo y en base a las cargas actuantes se realizarán dos tipos de cimientos.

Figura 46. **Planta de cimentación**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Como todo proyecto de obra civil la capacidad soporte del suelo es de gran importancia, por lo tanto, antes de realizar una cimentación para los contenedores es importante estudiar a profundidad el suelo, pero para este proyecto se utilizará un valor soporte de 14 ton/m<sup>2</sup>.

Debido a la forma del contenedor y a las dimensiones de los esquineros se puede recomendar un tipo de cimentación con una forma y diseño específico, la forma es simplemente una columna corta con una zapata aislada, la base o columna corta será el elemento que unirá el contenedor con la zapata aislada.

El esquinero del contenedor tiene una dimensión de 17,8 cm x 15,85 cm, considerando estas medidas para pre-dimensionar la base donde se apoyará el contenedor es recomendable una base con dimensiones de 30 x 30 cm para el cimiento tipo Z-1 que es una base más apropiada para soportar cargas laterales, puntuales y excéntricas. Además, en una base más amplia se puede acomodar muy bien el esquinero de un contenedor de tal forma que las fuerzas transmitidas al cimiento sean lo más concéntricas posible.

Un contenedor marítimo es un elemento bastante rígido, por lo tanto, este absorberá todos los momentos provocados por las cargas y a la base de cimentación solo le transmitirá las cargas puntuales por lo que las únicas cargas que provocan momento serían las laterales de sismo. Si la base tendrá una altura de un metro el momento en la base será de 0,83 ton-m. este momento se utilizará en las direcciones laterales.

Partiendo de esto, se podría predimensionar una base típica, estableciendo que la dimensión mínima para la base del cimiento tipo Z-1 de 30 x 30 cm se tienen los siguientes datos:

$A_g = \text{Área de la base de cimiento.}$

$$A_g = 900 \text{ cm}^2$$

Para el diseño de la base de la cimentación se considera como una columna de concreto armado porque el  $A_s$  mínimo requerido corresponde al 1 %  $A_g$ .

$$A_{s \text{ min}} = A_g * 1 \% = 9,0 \text{ cm}^2$$

$$9 \text{ cm}^2 = 1,4 \text{ in}^2$$

Cada barra de acero de refuerzo #4 tiene un área de 0,2 in<sup>2</sup> por lo que 8 barras suman un área de 1,6 in<sup>2</sup>, siete barras suman 1,4 in<sup>2</sup>, pero un número impar de barras ocasiona problemas a la hora de distribuir los refuerzos en la base de concreto.

Uno de los parámetros que se debe cumplir es que el área de acero por utilizar no debe ser mayor que 4 % Ag.

$$4 \%Ag = 36,00 \text{ cm}^2 = 5,58 \text{ in}^2$$

$$\text{Se tiene } 1,4 \text{ in}^2 < 1,6 \text{ in}^2 < 5,58 \text{ in}^2$$

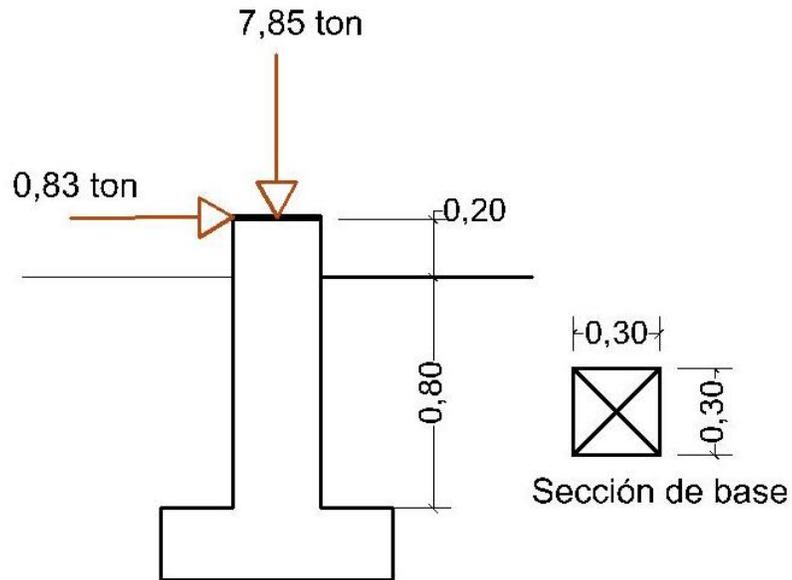
La distribución del refuerzo por corte no debe ser mayor al valor del lado menor de la base, entonces se utilizará para el estribo refuerzo #3 con una separación de 30 cm.

Tabla XVI. **Datos para cimiento z-1**

PU=Carga última	2,7 ton
Muxx= Momento último en eje xx	0,83 ton-m
Muyy= Momento último en eje yy	0,83 ton-m
F'c = Resistencia del concreto	221 kg/cm <sup>2</sup>
Fy= Resistencia del acero	2 800 kg/cm <sup>2</sup>
Cap. suelo. =capacidad soporte del suelo	14 ton/m <sup>2</sup>
Fcn= Factor de reducción	1,49
γconcreto= Peso específico de concreto	2,4 t/m <sup>3</sup>
γsuelo= Peso específico de suelo.	1,4 t/m <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Fuerzas en cimiento Z-1



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Cargas de trabajo.

$$P_t = \text{carga de trabajo} = P_U / 1,49 = 7,85 / 1,49 = 1,81 \text{ Ton.}$$

$$M_{txx} = \text{momento de trabajo en eje xx} = M_{uxx} / F_{cn} = 0,83 / 1,49 = 0,55 \text{ Ton.}$$

$$M_{tyy} = \text{momento de trabajo en eje yy} = M_{uyy} / F_{cn} = 0,83 / 1,49 = 0,55 \text{ Ton.}$$

Cap. Suelo=  $P/A$  entonces  $A=P/\text{cap. Suelo}$ .

$$A = 0,192 \text{ m}^2$$

Se propone una zapata de  $1,0 \times 1,0 \text{ m} = 1,00 \text{ m}^2$  y un espesor de zapata  $h = 0,15$  metros.

$$P_{p\text{zap}} = 0,36 \text{ ton.}$$

$$P_{p\text{sue}} = 1,12 \text{ ton}$$

$$q = m/\min = \pm P/A \pm MG/lx \pm MG/ly$$

$$P = P_t + P_p = 3,50 \text{ ton}$$

Se tiene entonces.

$$q_{\max} = \text{carga máxima} = 10,19 \text{ ton/ m}^2$$

$$q_{\min} = \text{carga mínima} = 3,51 \text{ ton/ m}^2$$

Chequea ya que  $q_{\max} < \text{Cap. suelo}$ .

Para el cálculo por desgarre se asume barras de acero #4

$$d = h - \text{rec} - \phi/2 = 9,36 \text{ cm} = 0,093 \text{ m.}$$

$$l = ((B-b) / 2 - d) = 0,25 \text{ m.}$$

$$\phi_{\text{act}} = qd * l * A = 3,89 \text{ ton.}$$

$$\phi_{\text{res}} = 0,85 * 0,53 + \text{raiz}(f'c) * b * d = 6,27 \text{ ton.}$$

Chequea ya que  $\phi_{\text{act}} < \phi_{\text{res}}$ .

Cálculo de la resistencia por punzonamiento:

$\beta$  = perímetro de punzonamiento

$$\beta = (a+d + b+d) * 2 = 157,46 \text{ cm}$$

$$A_p = (a+d) * (b+d) = 0,15 \text{ m.}$$

$$\phi_{\text{act}} = qd(A_t - A_p) = 12,83 \text{ ton.}$$

$$\phi_{\text{res}} = (0,9 * 1,06 * \text{raiz}(f'c) * \beta * d) / 1000$$

Chequea ya que  $\phi_{\text{act}} < \phi_{\text{res}}$ .

Sabiendo que en el lado más largo de la zapata sobresale 0,35 metros después de la base se calcula el momento actuante en la zapata con la formula  $M_a = \text{carga de diseño} * L^2/2$ .

$$M_a = 0,90 \text{ ton-m}$$

$$M_n = 0,9 * A_s * f_y (d - (A_s * f_y) / (1,7 * f_c * b))$$

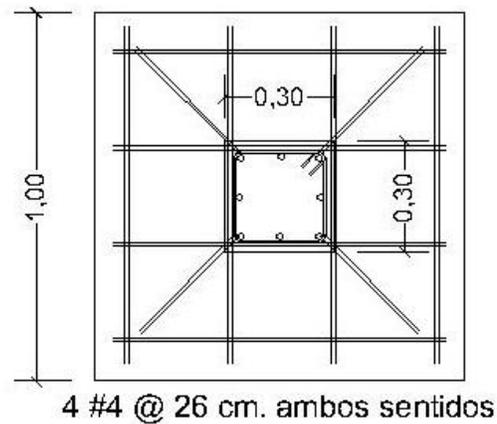
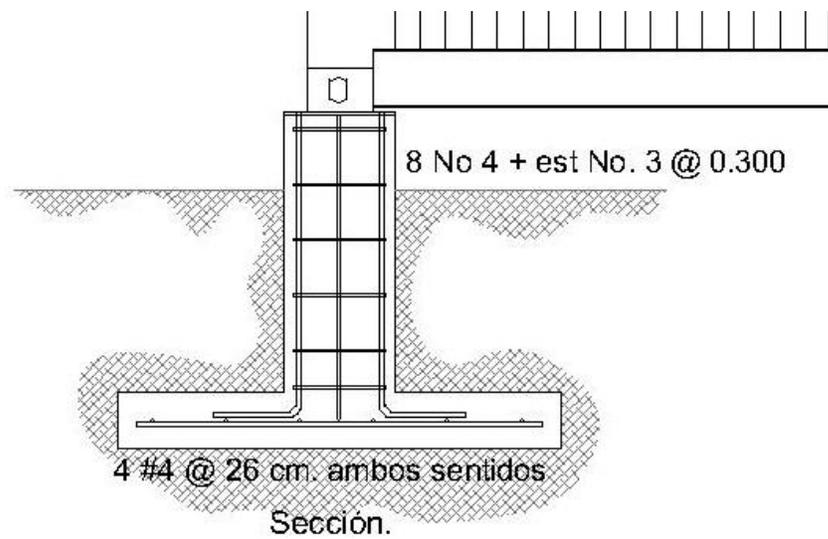
Sea utilizara  $A_s = 4 \text{ cm}^2$

$M_n = 1,17 \text{ ton-m.}$

De los cálculos se obtienen los siguientes datos:

Zapata de  $1,0 \times 1,0 \text{ m}$  con espesor de  $15 \text{ cm.}$  y 4 varillas #4.

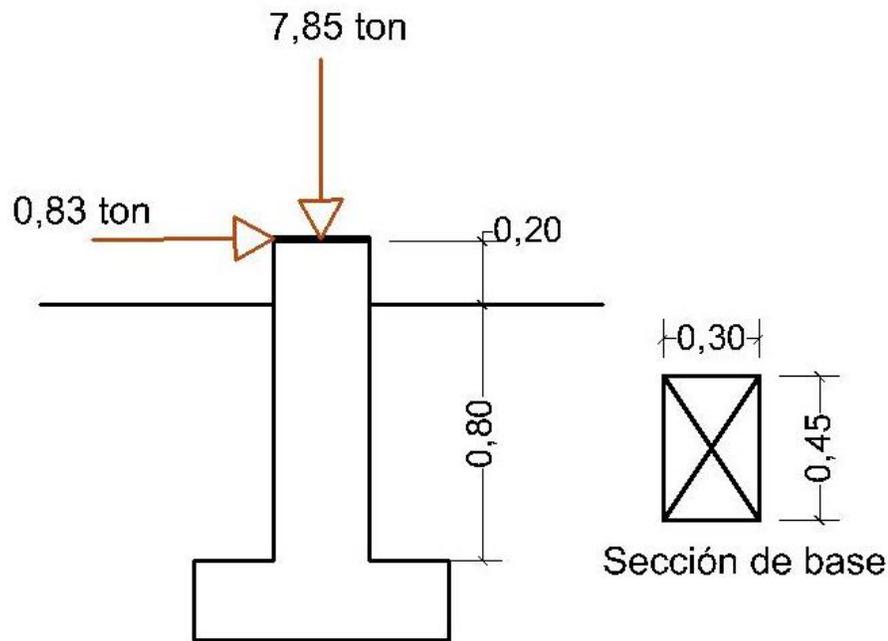
Figura 48. **Armado final de zapata Z-1**



Planta.

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Figura 49. Fuerzas en cimiento Z-2



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Debido a que en el cimiento tipo Z-2 se apoyarán dos esquineros de contenedor la base tiene que ser más amplia sabiendo que dos esquineros suman una longitud máxima 35,6 cm, la propuesta de base para apoyar dos esquineros será de 45 cm x 30 cm, por lo que se tienen los siguientes datos:

$A_g$  = área de la base de cimiento.

$$A_g = 1\,350 \text{ cm}^2$$

Para el diseño de la base de la cimentación se considera como una columna de concreto armado por que el  $A_s$  mínimo requerido corresponde al 1 %  $A_g$ .

$$A_{s \text{ min}} = A_g \cdot 1\% = 13,5 \text{ cm}^2$$

$$13,5 \text{ cm}^2 = 2,10 \text{ in}^2$$

Cada barra de acero de refuerzo #5 tiene un área de 0,31 in<sup>2</sup> por lo que 4 barras suman un área de 1,24 in<sup>2</sup>, y 8 #3 suman 0,88 in<sup>2</sup>, se tiene un total de 2,12 in<sup>2</sup>, otro de los parámetros que se debe cumplir es que el área de acero por utilizar no debe ser mayor que 4 % Ag.

$$4 \% Ag = 54,00 \text{ cm}^2 = 8,37 \text{ in}^2$$

Se tiene  $2,1 \text{ in}^2 < 1,24 \text{ in}^2 < 8,37 \text{ in}^2$  cumpliendo con los parámetros. La distribución del refuerzo por corte no debe ser mayor al valor del lado menor de la base, entonces se utilizará para el estribo refuerzo #3 con una separación de 30 cm.

Tabla XVII. **Datos para cimiento tipo Z-2**

PU= carga última =	7,85 ton
Muxx= momento último en eje xx=	0,83 ton-m
Muyy= momento último en eje yy	0,83 ton -m
F'c= resistencia de concreto	221 kg/cm <sup>2</sup>
Fy= resistencia de acero	2 800 kg/cm <sup>2</sup>
Cap suelo= capacidad soporte de suelo	14 ton. /m <sup>2</sup>
Fcn= factor de reducción	1,49
γconcreto= peso específico de concreto	2,4 ton. /m <sup>3</sup>
γsuelo= peso específico de suelo	1,4 ton. /m <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia.

Cálculo de cargas de trabajo.

$$P_t = \text{Carga de trabajo} = PU/1,49 = 7,85 \text{ ton} / 1,49 = 5,27 \text{ ton}$$

$$M_{txx} = \text{Momento de trabajo } xx = M_{uxx}/1,49 = 0,83/1,49 = 0,56 \text{ ton-m}$$

$$M_{tyy} = \text{Momento de trabajo } yy = M_{uyy}/1,49 = 0,83/1,49 = 0,56 \text{ ton-m}$$

Pre-dimensionamiento de zapata:

$$\text{Cap. suelo.} = P/A, \text{ entonces } A = P/\text{Cap. suelo.}$$

$$A=5,27 \text{ ton}/1,4 \text{ ton/m}^2 = 0,57 \text{ m}^2$$

Se asumirá  $a=1,2$ ,  $b=1,2$ , área total de zapata  $A=1,44 \text{ m}^2$

$$P_{\text{pzap}} = 1,2 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m} \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ kg/m}^3 = 0,52 \text{ ton}$$

$$P_{\text{psue}} = 1,2 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m} \cdot 0,80 \text{ m} \cdot 1,4 \text{ kg/m}^3 = 1,61 \text{ ton}$$

Calculando las cargas resistentes de zapata,  $q = m/\text{min} = \pm P/A \pm$   
 $MG/lx \pm MG/ly$

$$P_t + P_p = 7,72 \text{ ton.}$$

$$q_{\text{max}} = \text{carga máxima} = 9,23 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{\text{min}} = \text{carga mínima} = 5,36 \text{ ton/m}^2$$

$$\text{Carga de diseño} = 13,75 \text{ ton/m}^2$$

Este valor revisa, ya que la carga inducida es menor que el valor soporte del suelo.

Cálculo el desgarre por flexión de zapata.

Se propone varillas #4 que tienen un área de  $1,29 \text{ cm}^2$

$$d = h - \text{rec} - \phi/2 = 9,365 \text{ cm} = 0,0936 \text{ m}$$

$$l = ((B-b) / 2 - d) = 0,28 \text{ m.}$$

$$\phi_{\text{act}} = qd \cdot l \cdot A = 4,64 \text{ ton.}$$

$$\phi_{\text{res}} = 0,85 \cdot 0,53 + \text{raiz}(f'c) \cdot b \cdot d = 7,53 \text{ ton}$$

OK ya que  $\phi_{\text{act}} < \phi_{\text{res}}$

Revisando el punzonamiento

$\beta$  = perímetro de punzonamiento

$$\beta = (a+d + b+d) \cdot 2 = 187,46 \text{ cm}$$

$$A_p = (a+d) \cdot (bd) = 0,214 \text{ m}^2$$

$$\phi_{\text{act}} = qd(A_t - A_p) = 16,86 \text{ ton}$$

$$\phi_{\text{presis}} = (0,9 * 1,06 * \text{raiz}(f'c) * \beta * d) / 1000 = 24,89 \text{ ton.}$$

chequea ya que  $\phi_{\text{presis}} > \phi_{\text{act}}$

Sabiendo que el lado más largo de la zapata sobresale 0,45 metros después de la base, se calcula el momento actuante en la zapata con la formula  $M_a = \text{carga de diseño} * L^2 / 2$ .

$$M_a = 13,643 \text{ ton/m}^2 * (0,45 * 0,45) / 2 = 1,38 \text{ ton-m}$$

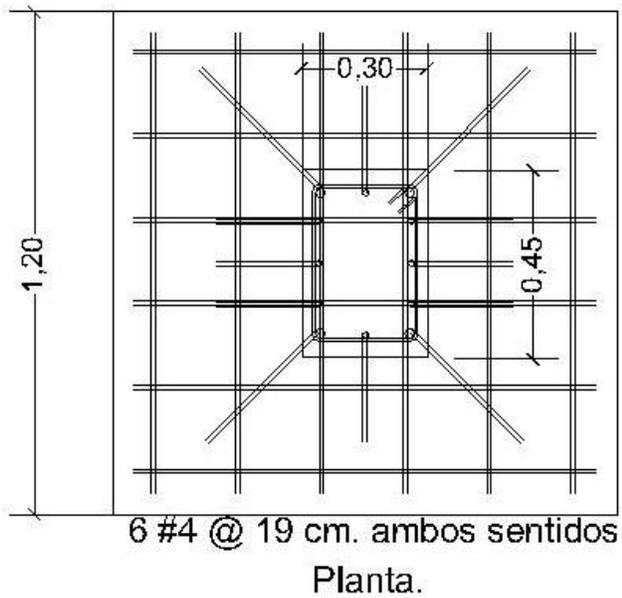
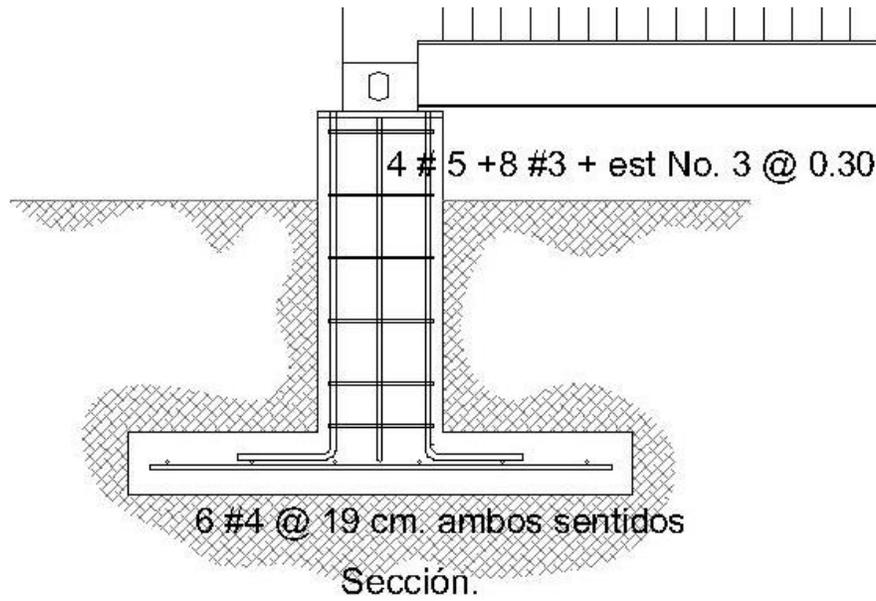
Se había utilizado varilla #4 y se propone un área de acero  $A_s = 8 \text{ cm}^2$

$$M_n = 0,9 * A_s * f_y (d - (A_s * f_y) / (1,7 * f_c * b)) = 1,87 \text{ ton-m}$$

chequea ya que  $M_n > M_a$ .

Calculado todos los datos necesarios se proceden a realizar el diseño final del armado.

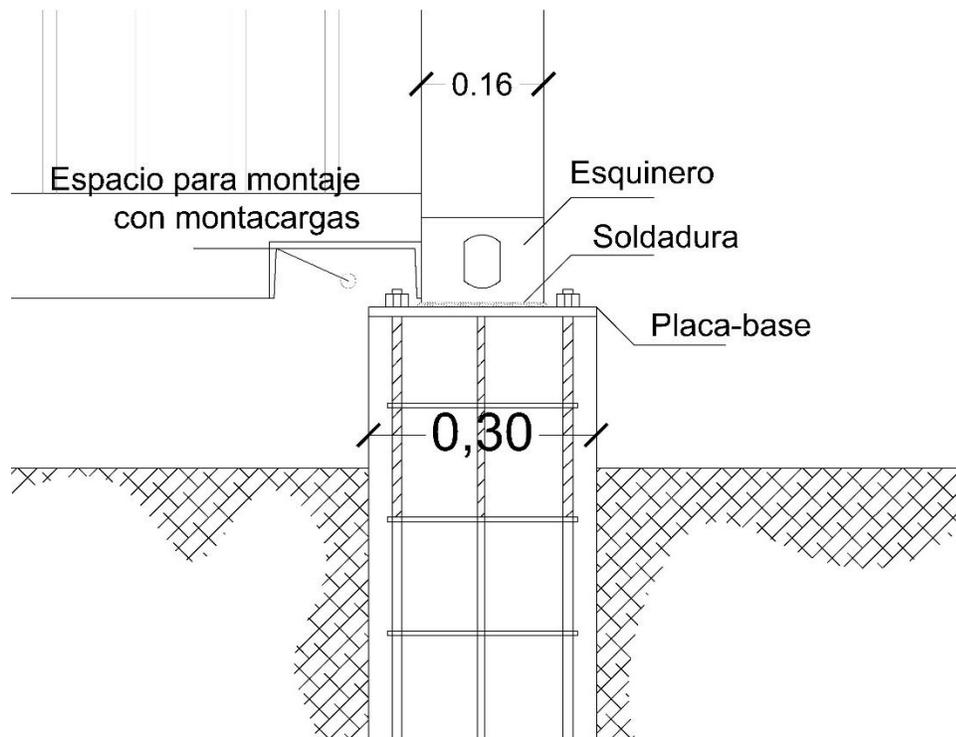
Figura 50. **Detalle de armado de cimiento tipo Z-2**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

La unión de la base a contenedor regularmente se realiza por medio de soldadura a una placa-base, la placa-base no deberá ser menor al ancho total de la base de cimentación y deberá estar unida a la base de cimentación por medio de pernos o soldada directamente al armado. La placa-base tiene que tener un espesor capaz de soportar la presión ejercido por el concreto y es esquinero del contenedor, no se entrará en detalle el diseño de la placa-base. pero se sugiere un espesor mínimo de 3/8”.

Figura 51. **Placa base**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

La soldadura de la placa-base con el contenedor puede ser por medio de electrodo revestido o por soldadura MIG/MAG, si se realiza con electrodo revestido se recomienda realizar un primer cordón con electrodo de penetración E6010-E6011 ya que las piezas a soldadura no se pueden biselar, después del

realizado el primer cordón es necesario realizar una soldadura fuerte en la cual se utilizaría electrodo E6018. Se recomienda la limpieza de los esquineros del contenedor ya el agua marina suele corroer estas piezas con bastante facilidad.

Cuando se unen varios contenedores ya sea para formar dos o más niveles además de colocarlos juntos hay que tener presente que la soldadura tiene que ser fuerte y en caso se unirse por medio de electrodo revestido es importante utilizar electrodo de alta penetración como primer cordón.

### **1.2.1.3. Apertura de vanos**

La apertura de vanos en un contenedor se realiza por medio de herramientas de corte para metal, como una esmeriladora con discos abrasivos, oxicorte o plasma. Cuando se corta un contenedor se tiene que utilizar equipo de seguridad adecuado ya que el metal tiende a alcanzar temperaturas altas que son capaces de quemar la pintura expulsando gases tóxicos.

Cuando se realizan los vanos en los paneles del contenedor estos hace que este pierda rigidez, por lo que es necesario colocar en todo el contorno del vano perfil metálico para evitar deformaciones en un contenedor existen. Los perfiles más recomendados son el tubo rectangular de 2"x3" chapa 14 o el angular de 2"x2"x 3/16".

Figura 52. **Refuerzo con tubo rectangular en vanos de ventana**



Fuente: elaboración propia, empresa CLT, S.A.

No es recomendable realizar vanos excesivamente grandes ya que cuando un contenedor es manipulado o está en uso, las cargas internas deformarán el piso y los paneles laterales, ya que los paneles son elementos que funcionan a corte, además de aportar rigidez directa al techo y a la viga lateral inferior, viga que es el sustento del piso.

Es recomendable que el área total de vanos no exceda 40 % del área total de los paneles, si fuese necesario una mayor área de vanos o incluso retirar el panel lateral por completo el contenedor debe ser reforzado con perfiles adicionales como los “WF”, perfiles “C” o los que el diseñador crea convenientes para evitar todo tipo de deformaciones y sobre-esfuerzos en el contenedor.

### **1.2.2. Factores ambientales que influyen en la habitabilidad de una edificación**

La habitabilidad se podría definir como la interacción del ser humano con el lugar a ocupar, así como la satisfacción o agrado biológico y psicológico en determinado escenario.

Existen dos tipos de habitabilidad la interna y la externa. La habitabilidad externa se refiere a la relación del humano con el medio o entorno urbano inmediato, la habitabilidad interna se refiere a la relación del humano con el interior de la vivienda. La habitabilidad de interés en los contenedores marítimos es la interna y es de la que se estará hablando en adelante.

Entre los factores que influyen en la habitabilidad están los de carácter social como la seguridad, operatividad, privacidad, funcionalidad y significatividad. Entre los factores físicos ambientales se tienen el ruido, humedad y temperatura. También existen los factores psicológicos como la percepción cognición y la evaluación del entorno.

### **1.3. Principales influencias ambientales en la comodidad de un edificio habitacional**

Cuando se habla de la habitabilidad se está hablando de todas las características que influyen en la percepción de comodidad de las personas en el ambiente que lo rodea, ya sea interior o exterior y es imposible negar que una de las principales características que influyen directamente en esta son las físicas ambientales que son en una vivienda el ruido la humedad y la temperatura.

El enfoque se hará en las características físico ambientales ya que son las que tiene una influencia general y directa en el contenedor marítimo como elemento constructivo, ya que las demás características dependerán exclusivamente del lugar donde se instalen, además del diseño que se les dé. A continuación, se definirán los parámetros que influyen en la habitabilidad de una edificación con contenedores marítimos.

### **1.3.1. Ruido**

El ruido se podría definir como la sensación desagradable que produce el sonido en el aparato auditivo humano.

A ninguna persona le agrada la idea de vivir en un lugar cercano a áreas industriales, aeropuertos, cerca de la carretera o algún lugar donde los niveles de ruido sean altos o que sean constantes durante el día, ya que el ruido es una causa de molestias auditivas, provocando daños auditivos o la pérdida de la capacidad auditiva personas que se exponen de forma continua a altos niveles de ruido.

### **1.3.2. Temperatura ambiente**

Aunque en física la definición de temperatura es un más compleja se podría definir como una magnitud escalar que mide la energía interna de un sistema termodinámico, aunque en términos comunes es una percepción física que se refiere a la noción de calor o ausencia de calor. La temperatura es la energía interna de un cuerpo termodinámico: a mayor energía mayor temperatura.

Se suele confundir temperatura con sensación térmica, siendo esta la forma en que la piel percibe la temperatura de su entorno.

### **1.3.3. Humedad relativa**

La humedad se puede definir como la cantidad de vapor de agua presente en el aire y se puede expresar de forma absoluta o de forma relativa. La humedad relativa es la relación porcentual de vapor de agua que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura.

### **1.3.4. Normativas y requerimientos necesarios para garantizar la comodidad y salud de los ocupantes de un edificio habitacional**

Para garantizar el *confort* de los habitantes en un ambiente interno existen factores mínimos y máximos que se deben cumplir en las cuales las percepciones físicas y psicológicas son aceptables, además de no ser dañinas para la salud.

#### **1.3.4.1. Niveles ruido permitidos**

Ya se sabe que ruidos es la cantidad de sonido que es molesto para el ser humano, pero hay que definir que el ruido es energía acústica en altos niveles.

Para definir lo que es la energía acústica, se tienen que explicar los caracteriza por dos términos diferentes, que a menudo se confunden: nivel de potencia sonora y nivel de presión sonora. La unidad de medida para los dos es el decibelio [dB].

El nivel de potencia sonora es la energía acústica emitida por la fuente de sonido. Es un valor absoluto que no se ve afectado por el entorno, y es independiente de la distancia equivalente al nivel de potencia acústica.

Algunos ejemplos de niveles de potencia sonora se pueden ver a continuación:

**Tabla XVIII. Niveles de potencia sonora**

Fuente	Potencia dB
Ruido de hojas	15
Zumbido de mosquito	45
Conversación normal	65
Aspiradora	70
Ruido de tráfico	80
Compresor neumático	90
Despegue de avión de hélice	120
Despegue de avión a reacción	140
Disparo de escopeta	160
Canto de ballenas	190
Sonar marino a 3 kHz	200

Fuente: elaboración propia.

La presión sonora es una perturbación de la presión en la atmósfera, cuya intensidad está influenciada no solo por la fuerza de la fuente, sino también por el entorno y la distancia entre la fuente y el receptor. El nivel de presión sonora es lo que los oídos escuchan dependiendo directamente de la distancia a la que se encuentre el objeto emisor y lo que los instrumentos de medición son capaces de medir.

Tabla XIX. **Niveles de presión sonora**

fuelle	Presión en dB	Distancia de fuente (m.)
Conversación normal	60	1,00
Trafico	70	15,00
Camión diésel	90	10,00
Despegue de avión	110	300,00
Despegue de avión	140	30,00
Despegue de avión	180	0,30
Fuegos artificiales	160	1,00
Bocina de vehículo	120	1,00

Fuente: elaboración propia

En base a lo anterior expuesto anteriormente se podrían decir que existen niveles de ruido en los cuales la salud son perjudiciales, y eso es fácil de saber ya que la mayoría de las personas sienten molestias en el oído al escuchar música a alto nivel, por lo tanto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que el límite de sonido saludable está por debajo de los 85 decibelios durante un máximo de ocho horas al día, sin embargo, esto varía según el país. Según la regulación de países europeos, no se pueden superar los 55 decibelios de día y los 45 decibelios de noche y un valor por encima de los 120 decibelios puede llegar a causar dolor, un nivel que rozan las sirenas de las ambulancias.

La OMS ha establecido diferentes niveles de ruido relacionados con las actividades que los causan y las sensaciones que de ellos se derivan. A continuación, se resumen los niveles establecidos por la OMS.

Tabla XX. **Sensaciones de niveles de ruido**

Nivel de ruido dB	Actividad	sensación
60	Conversación sosegada.	Normal
70	Conversación en voz alta, lluvia fuerte	Ruido de fondo incómodo para conversar
80	Interior de vagón de metro, calle con tráfico intenso, cadena de montaje	Produce molestia
90	Taller mecánico, claxon de automóvil	Sensación molesta
100	Sirena de policía, Discusión a gritos	Sensación molesta
110	Discoteca	Sensación insoportable
120	Martillo pilón  Concierto de rock	Sensación dolorosa
130	Motor a reacción a 10 m.	Sensación dolorosa
140	Despegue avión a 25 m.	Dolor y daños auditivos
150	Petardo que estalla al lado	Dolor agudo y riesgo de sordera permanente

Fuente: HERNÁNDEZ, Adriana. *Contaminación acústica*. <http://www.webconsultas.com/belleza-y-bienestar/medioambiente/niveles-de-ruido-de-tu-entorno>. Consulta: abril 2017.

Según el reglamento de ministerio de trabajo en el Acuerdo Gubernativo 229-2014 establece los niveles máximos de ruido y los tiempos de exposición.

Tabla XXI. **Niveles máximos de ruido según ministerio de trabajo**

Presión sonora en dB.	Tiempo de exposición por jornada
85	8 horas
88	4 horas
91	2 horas
94	1 hora
97	30 minutos
100	15 minutos

Fuente: Acuerdo Gubernativo 229-2014 artículo 18

#### 1.3.4.2. Niveles de temperatura permitida

Para entender cómo afecta la temperatura en una vivienda y bajo que parámetros la temperatura es agradable, además de ser inofensiva para los humanos hay que definir que es el *confort* térmico.

La norma ISO 7730 define el *confort* térmico como “una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico” en otras palabras es la temperatura donde una persona no siente ni calor, ni frío.

El confort térmico depende de varios parámetros globales externos, como la temperatura del aire, la velocidad y la humedad relativa, y otros específicos internos como la actividad física desarrollada, la cantidad de ropa o el metabolismo de cada individuo. La sensación de frío o calor en un humano está directamente relacionada con la temperatura interna del cuerpo, cuando la temperatura de la piel cae debajo de 34 °C los sensores empiezan a enviar un impulso al cerebro. Lo mismo sucede con el calor, al aumentar la temperatura de la piel sobre los 37 °C.

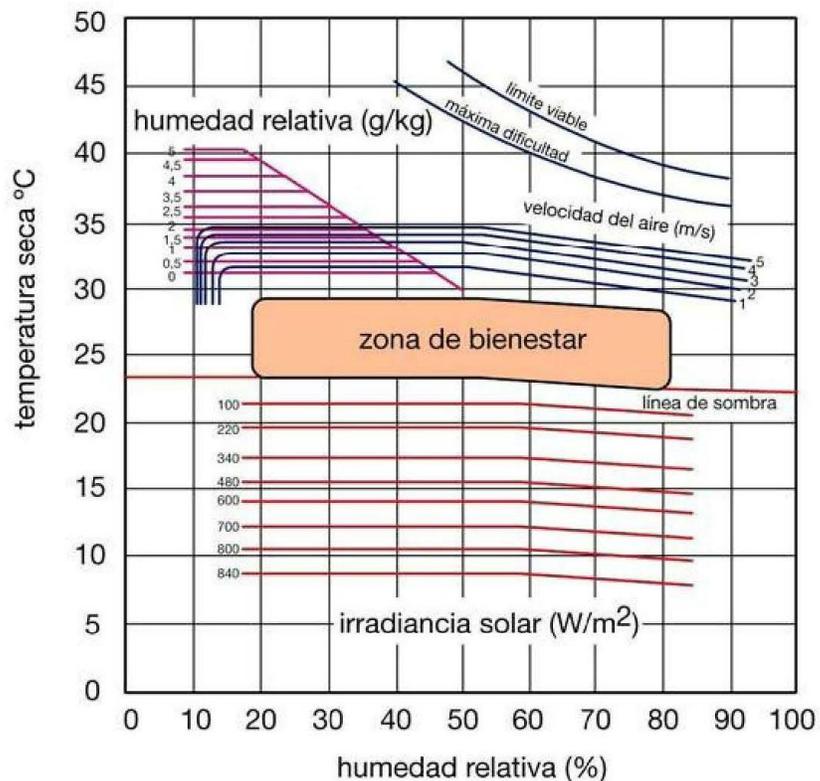
La humedad relativa está directamente relacionada con el confort térmico. Sabiendo que la humedad relativa es la cantidad de vapor de agua que puede contener el aire, sucede que, en ambientes fríos, aumenta la humedad relativa, ya que el aire admite menos vapor de agua, mientras que, en ambientes cálidos, disminuye la humedad relativa lo que produce sensación de sequedad.

Cuando la humedad relativa es alta, el sudor del cuerpo no se evapora con facilidad y no puede bajar su temperatura correctamente; cuando es baja, la evaporación es excesiva, provocando sequedad de la piel y de las mucosas. No es fácil determinar el valor de humedad relativa que produce un confort térmico,

por sí solo, pero existe un método que en conjunto con los otros parámetros puede indicarnos los valores aproximados.

Los hermanos Olgay desarrollaron un método para determinar la temperatura de confort en un humano que se encuentra en un interior, a la sombra y con viento bajo, estas son las condiciones que prevalecen en el interior de una vivienda. a su método se le conoce como diagrama de Olgay o carta bioclimática de Olgay. En donde el rango o zona donde el cuerpo humano percibe un confort relativo a ciertos parámetros ambientales.

Figura 53. **Diagrama de Olgay**



Fuente: HERNÁNDEZ, Pedro. *Diagrama bioclimático de Olgay*.

[https://pedrojhernandez.files.wordpress.com/2014/03/tablas\\_pc3a1gina\\_1.jpg](https://pedrojhernandez.files.wordpress.com/2014/03/tablas_pc3a1gina_1.jpg). Consulta: abril de 2017.

A continuación, se exponen algunos intervalos de valor de los parámetros de confort externos que interactúan entre sí para la consecución del confort térmico y que se encuentran representados en el diagrama de Olgyay.

Temperatura del aire ambiente: entre 18 y 26 °C

Temperatura radiante media superficies del local: entre 18 y 26 °C

Velocidad del aire: entre 0 y 2 m/s

Humedad relativa: entre el 40 y el 65 %

Aunque este método tiene ciertos parámetros que no son contemplados como la actividad biológica, es el un buen indicador para el confort térmico en interior de viviendas.

#### **1.3.4.3. Métodos para toma de datos ambientales como sonido, humedad y temperatura ambiente**

Se sabe que una correcta medición de los parámetros relacionados con la habitabilidad y el confort térmico, puede indicar que lo saludable para el ser humano es una vivienda, en este caso un contenedor no difiere en la toma de mediciones con la una vivienda por lo a continuación se describe el proceso de medición de cada parámetro ambiental.

El sonido se puede medir con sonómetros, dosímetro o sondas acústicas, estos aparatos miden los niveles de presión sonora, valores dados en decibelio (dB). No existe un protocolo de medición de ruido en una vivienda por lo que se utilizará el protocolo para medir niveles de ruido en un ambiente laboral, proporcionado por el Ministerio de Trabajo. El método por realizar se llama medición directa de dosis de ruido.

Para aplicar este procedimiento se debe utilizar un sonómetro o dosímetro metro fijado para un índice de conversión de 3 dB y un nivel mínimo de 85 dBA como criterio para una jornada laboral de 8 horas de duración. Puede medirse la exposición de cada trabajador, de un trabajador tipo o un trabajador representativo.

Si la evaluación del nivel de exposición a ruido de un determinado trabajador se ha realizado mediante una dosimetría de toda la jornada laboral, el valor obtenido representará la dosis diaria de exposición, la que no deberá ser mayor que 1 % o 100 %.

En caso de haberse medido solo un porcentaje de la jornada de trabajo (tiempo de medición menor que el tiempo de exposición) se puede considerar que el resto de la jornada tendrá las mismas características de exposición al ruido. La proyección al total de la jornada se debe realizar por simple proporción de acuerdo con la siguiente expresión matemática:

$$\text{Dosis proyectada jornada laboral} = \frac{\text{dosis medida} \times \text{tiempo total de exposición}}{\text{Tiempo de medición}}$$

En caso de haberse evaluado solo un ciclo, la proyección al total de la jornada se debe realizar multiplicando el resultado por el número de ciclos que ocurren durante toda la jornada laboral.

Cuando se efectúa un relevamiento de niveles de ruido a partir de la medición de ruido, es conveniente tener en cuenta los puntos siguientes:

- El equipo de medición debe estar correctamente calibrado.
- Comprobar la calibración, el funcionamiento del equipo, pilas, etcétera.

- El sonómetro deberá disponer de filtro de ponderación frecuencial “A” y respuesta lenta.
- Si la medición se realizara al aire libre e incluso en algunos recintos cerrados, deberá utilizarse siempre un guardavientos.
- El ritmo de trabajo deberá ser el habitual.
- Seguir las instrucciones del fabricante del equipo para evitar la influencia .de factores tales como el viento, la humedad, el polvo y los campos eléctricos y magnéticos que pueden afectar a las mediciones.
- Si el trabajador realiza, tareas en distintos puestos de trabajo, se deberá realizar la medición mediante un dosímetro.

La medición de temperatura se realizar con un termómetro y la humedad se mide con un higrómetro, existen aparatos que pueden medir la temperatura ambiental y la humedad relativa al mismo tiempo, los pasos para realizar estas mediciones ambientales se realizan con los siguientes parámetros.

- Verificar que el termómetro este bien calibrado.
- Colocar el termómetro en el interior del ambiente por medir.
- Verificar que el termómetro se encuentre lo más próximo al centro geométrico de la habitación.
- No colocar el termómetro cerca de fuentes de calor, como estufas o electrodomésticos.
- Verificar que el termómetro no reciba directamente los rayos solares.

## **2. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

En este capítulo se muestran todas las mediciones de los parámetros que influyan en la habitabilidad de una edificación, factores que podrían afectar la salud o la comodidad de las personas que podrían habitar una edificación realizada con contenedores marítimos.

### **2.1. Metodología utilizada para la toma de datos de sonido, humedad y temperatura**

Las mediciones se realizaron por medio de toma directa de datos en campo, con la instrumentación apropiada para cada parámetro. Para todas las mediciones se utilizó un contenedor completamente vacío del tipo Dry Van de 20 pies, colocado en el mismo lugar durante los cinco meses que se pudieron realizar la toma de datos.

#### **2.1.1. Factores y lugares donde se tomaron los datos**

Las características del lugar del donde se realizaron las mediciones se resumen a continuación.

- **Localización:** el contenedor se encuentra dentro de las instalaciones de la empresa de transporte pesado con nombre comercial de Compañía de logística y transporte S.A, (CLT S.A), con dirección catastral 6-50 zona 3, km. 13,5 carretera a Bárcenas, municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala.

- Ubicación: según el software de geo-posicionamiento *Google Earth* al contenedor le corresponden las siguientes coordenadas, 4°32'23.77" N y 90°36'31.89" O, con una altura sobre el nivel del mar de 1 436,00.
- El contenedor se encuentra expuesto directamente a los rayos del sol, así como a la lluvia, la vegetación más cercana se encuentra a una distancia de 15,00 m. estando lejos de cualquier objeto que influya en los datos obtenidos.

Figura 54. **Contenedor utilizado para desarrollo experimental (A)**



fuelle: elaboración propia, empresa CLT, S.A. Villa Nueva.

Figura 55. **Contenedor utilizado para desarrollo experimental (B)**



Fuente: elaboración propia, empresa CLT, S.A..

### **2.1.2. Medición de sonido**

Para la toma de sonido se utilizó un sonómetro digital 30-130dBA, con mediciones directas de sonido dentro del contenedor, además de mediciones en el exterior. Para la toma de datos se midieron los niveles de ruidos durante un tiempo determinado de 3 horas mostrando los niveles máximos y mínimos especialmente con lluvia.

Las características del sonómetro se resumen a continuación:

- Resolución: 0,1 dBA
- Precisión: +/- 1.5dBA
- Indicación de batería baja
- Pantalla de retroiluminación automática

- Tasa de muestreo: dos veces por segundo
- Rango de medición: 30dBA-130dBA
- Respuesta de frecuencia: 31,5Hz-8,5KHz
- Sensor de luz para controlar la intensidad del retroiluminado
- Tornillo de fijación para montaje sobre soporte o trípode (5mm)
- Temperatura de funcionamiento: 0 - 40 °C
- Temperatura de almacenamiento: -10 0 60 °C
- Fuente de alimentación: 1 batería 6F22 9V
- Apagado automático

Figura 56. **Sonómetro utilizado**



Fuente: elaboración propia

### **2.1.3. Mediciones de temperatura y humedad**

Uno de los factores que influyen directamente en la habitabilidad de una edificación es el confort térmico, debido a esto se realizaron mediciones de temperatura en un contenedor tipo Dry Van de 20 pies, por un tiempo de tres meses en un mismo lugar. Para la medición de temperatura se utilizó un termómetro digital que tenía las funciones extras de medición de humedad, así como memoria para almacenar los valores mínimos y máximos ocurridos durante las últimas 24 horas. Además, se realizaron mediciones de temperatura ambiente en el exterior del contenedor.

Características de termómetro utilizado:

- Material: ABS
- Retroiluminación: No
- Color del texto: negro
- Rango de temperatura:  $-50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +70\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-122\text{ }^{\circ}\text{F} \sim +158\text{ }^{\circ}\text{F}$ )
- Rango de humedad: 10 % ~ 99 % RH
- Precisión de la temperatura:  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$ )
- Temperatura resolución:  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $0,1\text{ }^{\circ}\text{F}$ )
- Precisión de humedad:  $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{HR}$  (40 % ~ 80 %)
- Fuente de alimentación: 1 x AAA 1,5 V (la batería no está incluida)
- Tamaño: 105 mm x 98 mm x 20 mm / 4,13 "x 3,86" x 0,79 "(Aprox.)

Figura 57. **Termómetro utilizado**



Fuente: elaboración propia.

## **2.2. Datos obtenidos en mediciones**

Los datos presentados son el resultado de mediciones hechas dentro el contenedor en diferentes épocas del año, para obtener la mayor cantidad de variables que puedan influir en la habitabilidad dentro del contenedor.

### **2.2.1. Mediciones de sonido**

Para la toma de datos se colocó el sonómetro en el centro del contenedor para saber los niveles de ruido alcanzados dentro del contenedor de manera natural sin influencia de maquinaria, herramientas o cualquier otra actividad diferente a las condiciones normales de una edificación habitacional.

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos por decibelímetro en interior de contenedor marítimo.

Tabla XXII. **Presión sonora dentro de contenedor**

nro.	Presión sonora dB	Condición ambiental	Velocidad de viento km/h	Tiempo de exposición en horas	Fecha.
01	51,0	Seco	5,00	1,50	15-08-2016
02	51,2	Seco	9	1,00	15-08-2016
03	52,8	Seco, viento	28,00	1,00	05-08-2016
04	52,5	Seco, viento	29	1,00	05-08-2016
05	61,8	Lluvioso, viento	33,00	1,50	08-08-2016
06	61,6	Lluvioso, viento	31,00	1,00	09-08-2016

Fuente: elaboración propia.

### 2.2.2. Mediciones sobre temperatura

La siguiente tabla se resumen los datos de temperatura medidos directamente con el termómetro digital, así como la humedad relativa del ambiente. La columna que indica la temperatura y humedad interior representa todos los valor obtenidos y medidos en el interior del contendor estando este abierto y los valores de la columna que indican la temperatura y humedad exterior representan todos los datos obtenidos y medidos fuera del contendor. Todos los datos se encuentran en orden respecto de la fecha en que fueron realizados y en el tiempo que se obtuvo el permiso para realizar las mediciones que duraron desde el 8 de febrero del 2016 hasta el 17 de mayo de 2016.

Tabla XXIII. **Datos obtenidos de temperatura y humedad**

Medición de temperatura y humedad en contenedor marítimo Dry Van de 20 pies.						
Nro.	Temperatura °C		Humedad relativa		Fecha	hora
	Interior	Exterior	interior	exterior		
1	23,4	23,1	54,00 %	42,00 %	08/02/2016	18:45:00
2	24,3	19,6	41,00 %	41,00 %	09/02/2016	10:33:00
3	28,2	19,8	28,00 %	42,00 %	09/02/2016	14:56:00
4	23,1	19,1	56,00 %	57,00 %	09/02/2016	15:41:00
5	18,1	18,2	42,00 %	40,00 %	09/02/2016	20:22:00
10	18,3	17,2	46,00 %	48,00 %	10/02/2016	8:54:00
7	28,2	19,4	28,00 %	29,00 %	10/02/2016	10:31:00
8	24,2	18,5	42,00 %	42,00 %	10/02/2016	15:33:00
9	22,6	19,3	43,00 %	44,00 %	10/02/2016	17:13:00
6	20,3	20,1	41,00 %	41,00 %	10/02/2016	20:45:00
11	31,8	22,1	30,00 %	30,00 %	13/02/2016	13:21:00
12	19,1	17	44,00 %	43,00 %	13/02/2016	17:15:00
13	28,4	21,9	40,00 %	39,00 %	14/02/2016	14:49:00
14	36,9	26,5	28,00 %	47,00 %	15/02/2016	15:05:00
15	26,2	25,5	50,00 %	52,00 %	15/02/2016	16:04:00
16	19,2	14,8	47,00 %	47,00 %	05/03/2016	8:08:00
17	30,5	25,3	46,00 %	45,00 %	08/03/2016	10:01:00
18	20,6	17,2	49,00 %	49,00 %	17/03/2016	8:01:00
19	31,1	24,7	44,00 %	42,00 %	25/04/2016	10:02:00
20	36,9	32,8	37,00 %	35,00 %	11/05/2016	15:12:00
21	26,1	25,5	55,00 %	57,00 %	16/05/2016	18:42:00
22	25,5	20,3	57,00 %	56,00 %	17/05/2016	10:32:00
23	31,1	24,1	46,00 %	46,00 %	17/05/2016	12:18:00
24	39,8	29,9	52,00 %	51,00 %	17/05/2016	13:01:00

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestran los valores máximos y mínimos ocurridos en un periodo de tiempo de 24 horas en el interior del contenedor Dry Van de 20 pies guardados por la memoria interna del termómetro, así como la fecha en que fueron obtenidos los datos, cabe resaltar que el termómetro no indica la hora en

la que fueron obtenidos esos valores máximos y mínimos, ya que es una función adicional, por eso se presentan en una tabla diferente a los valores medidos en tiempo real. Estos valores fueron tomados cuando el contenedor se encontraba totalmente cerrado.

**Tabla XXIV. Valores de temperatura máximos y mínimos**

Temperaturas máximas y mínimas en contenedor Dry Van 20 pies					
	Temperatura °C		Humedad relativa		Fecha
Nro.	Máxima	Mínima	Máxima	Mínimo	
1	18,3	7,1	46,00 %	26,00 %	10/02/2016
2	32,1	7,1	56,00 %	26,00 %	11/02/2016
3	41,4	10,1	61,00 %	24,00 %	15/02/2016
4	42	12,1	54,00 %	31,00 %	22/02/2016
5	42,1	10,8	59,00 %	24,00 %	29/02/2016
6	42,1	10,8	59,00 %	21,00 %	05/03/2016
7	42,9	10,8	64,00 %	21,00 %	08/03/2016
8	42,8	10,8	49,00 %	41,00 %	17/03/2016
9	46,9	12,5	57,00 %	20,00 %	30/03/2016

Fuente: elaboración propia.

Figura 58. **Temperatura mínima registrada**



Fuente: elaboración propia.

Figura 59. **Temperatura máxima registrada**

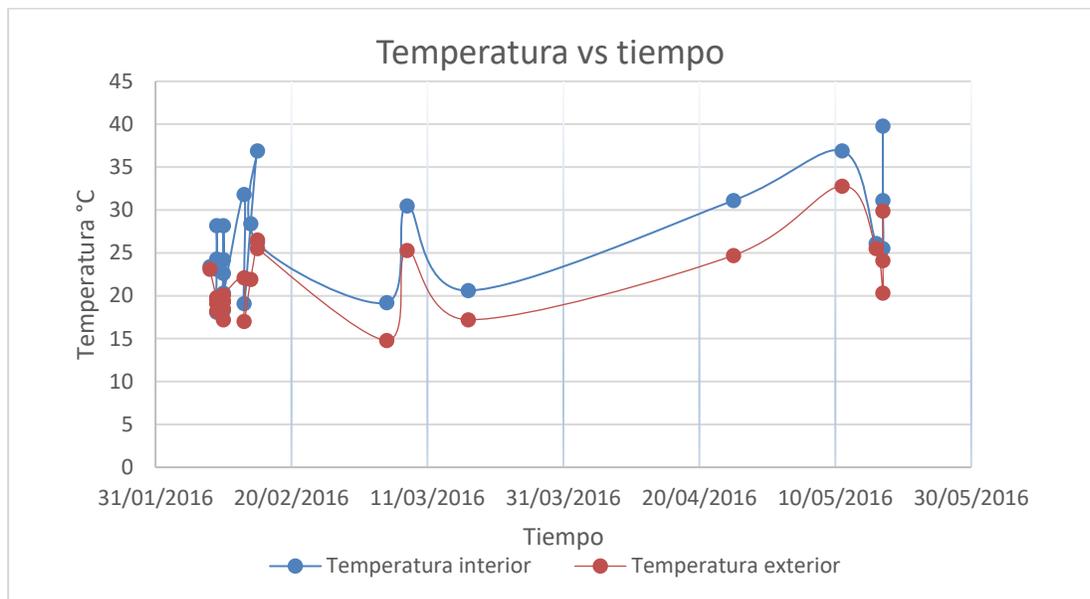


Fuente: elaboración propia.

### 2.2.3. Tabulación de datos y gráficos

De los datos obtenidos se presenta la primera grafica en la que se muestran los cambios de temperatura ocurridos en los meses de febrero, marzo abril y mayo de 2016 dentro del contenedor Dry Van de 20 pies. La agrupación de muchos datos en los primeros meses se debe a que en el primer mes se realizaron mayor cantidad de lecturas.

Figura 60. Variación de la temperatura en el tiempo febrero-mayo



Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

La tabla que se presenta a continuación representa las temperaturas tomadas respecto de la hora de la medición, datos que servirá para obtener la variación de la temperatura durante el día. La variación de la tendencia de la temperatura se debe a que fueron incluidos datos de diferentes meses y hay que

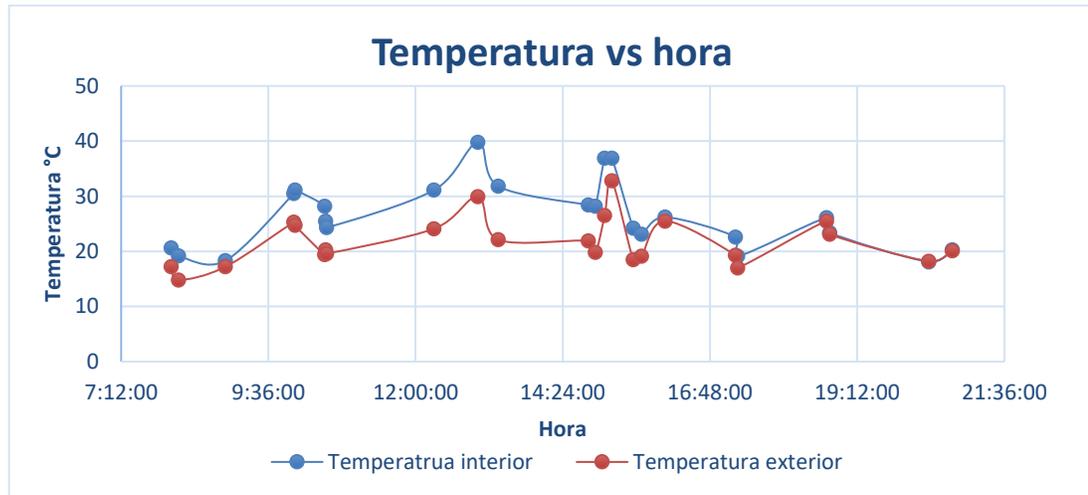
recordar que la temperatura a nivel nacional aumenta de febrero a mayo con la entrada del verano.

Tabla XXV. **Variación de la temperatura durante el día**

Medición de temperatura en contenedor de 20 pies.						
Nro.	Temperatura °C		Humedad relativa		Fecha	Hora
	Interior	Exterior	interior	exterior		
1	20,6	17,2	49,00%	49,00%	17/03/2016	8:01:00
2	19,2	14,8	47,00%	47,00%	05/03/2016	8:08:00
3	18,3	17,2	46,00%	48,00%	10/02/2016	8:54:00
4	30,5	25,3	46,00%	45,00%	08/03/2016	10:01:00
5	31,1	24,7	44,00%	42,00%	25/04/2016	10:02:00
6	28,2	19,4	28,00%	29,00%	10/02/2016	10:31:00
7	25,5	20,3	57,00%	56,00%	17/05/2016	10:32:00
8	24,3	19,6	41,00%	41,00%	09/02/2016	10:33:00
9	31,1	24,1	46,00%	46,00%	17/05/2016	12:18:00
10	39,8	29,9	52,00%	51,00%	17/05/2016	13:01:00
11	31,8	22,1	30,00%	30,00%	13/02/2016	13:21:00
12	28,4	21,9	40,00%	39,00%	14/02/2016	14:49:00
13	28,2	19,8	28,00%	42,00%	09/02/2016	14:56:00
14	36,9	26,5	28,00%	47,00%	15/02/2016	15:05:00
15	36,9	32,8	37,00%	35,00%	11/05/2016	15:12:00
16	24,2	18,5	42,00%	42,00%	10/02/2016	15:33:00
17	23,1	19,1	56,00%	57,00%	09/02/2016	15:41:00
18	26,2	25,5	50,00%	52,00%	15/02/2016	16:04:00
19	22,6	19,3	43,00%	44,00%	10/02/2016	17:13:00
20	19,1	17	44,00%	43,00%	13/02/2016	17:15:00
21	26,1	25,5	55,00%	57,00%	16/05/2016	18:42:00
22	23,4	23,1	54,00%	42,00%	08/02/2016	18:45:00
23	18,1	18,2	42,00%	40,00%	09/02/2016	20:22:00
24	20,3	20,1	41,00%	41,00%	10/02/2016	20:45:00

Fuente: elaboración propia.

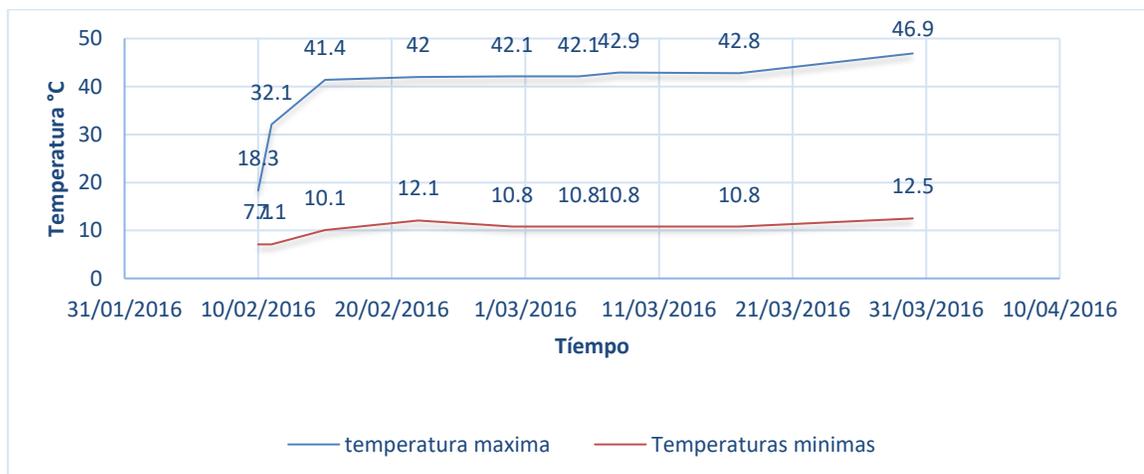
Figura 61. **Gráfica de los cambios de temperatura durante el día**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

De los datos que se obtuvieron del termómetro digital existen los valores máximos y mínimos ocurridos durante un día en el interior del contenedor, estos se aprecian mejor en el siguiente gráfico.

Figura 62. **Temperaturas máximas y mínimas ocurridas dentro del contenedor en diferentes días**

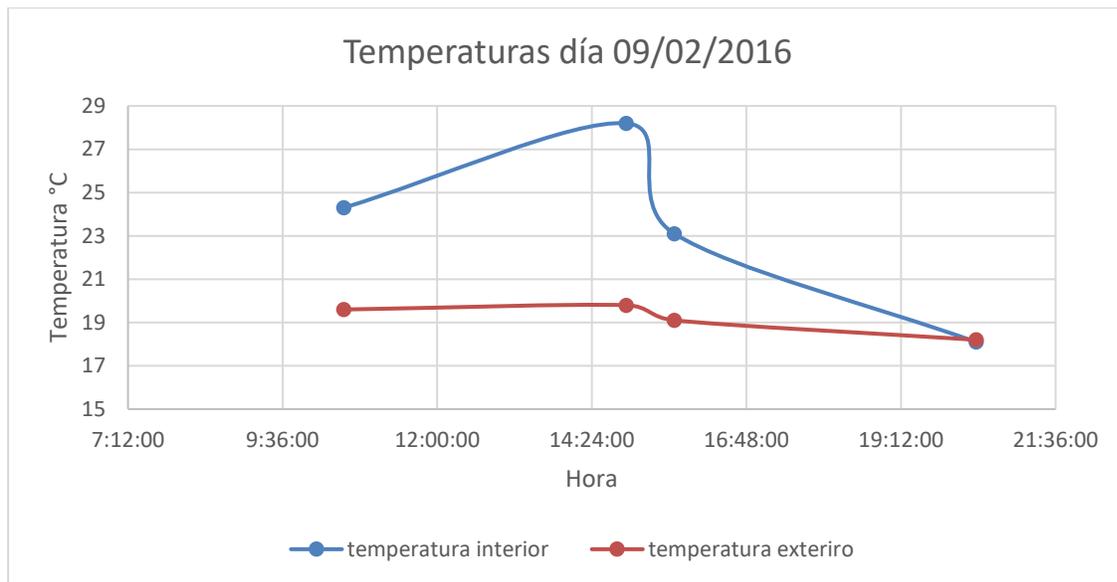


Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

En vista que el gráfico de la figura 35 presenta una importante acumulación de datos en las primeras fechas se presentan dos gráficas que presentan estos datos en los días que se realizaron mayores lecturas.

En la siguiente gráfica se aprecia que la temperatura máxima de ocurrió a las 14:46 horas y fue de 28,2 °C mientras que la temperatura ambiente exterior era de 19,8 °C.

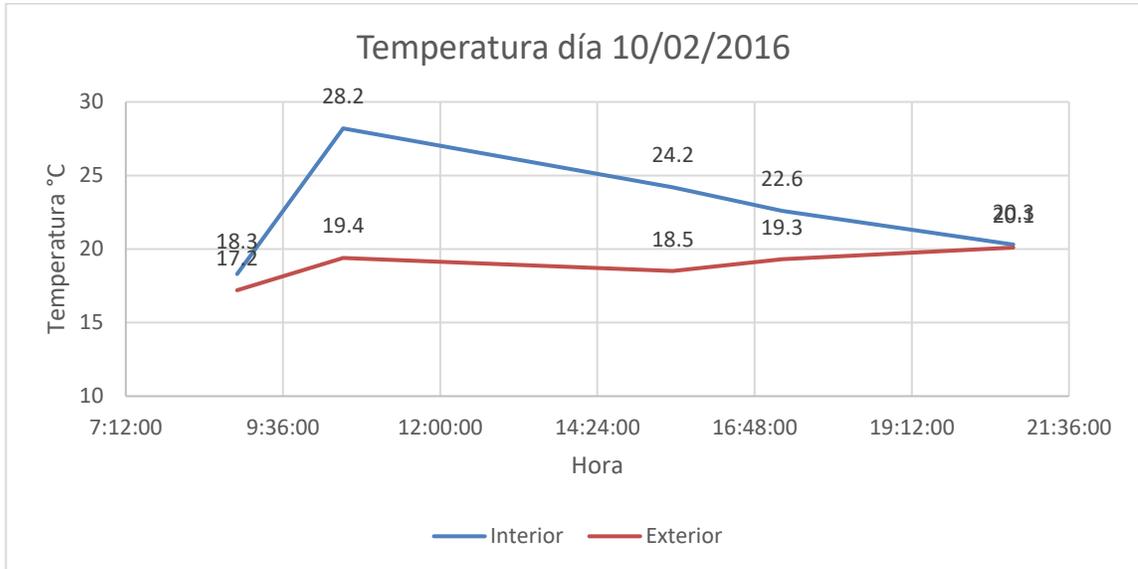
Figura 63. **Temperatura durante un mismo día (A)**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

El 10 de febrero ocurrió nuevamente una temperatura máxima de 28,2 °C a las 10:31 horas cuando la temperatura ambiente exterior fue de 19,4 °C. se aprecia como en horas de la mañana y tarde no existe mucha diferencia de temperatura en el interior del contenedor y el ambiente exterior.

Figura 64. **Temperatura durante un mismo día (B)**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2016.

Las mediciones de temperatura se realizaron con el contenedor abierto excepto las mediciones de máximos y mínimos que se realizaron con el contenedor completamente cerrado.



### **3. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En este capítulo se analizarán los datos obtenidos en el capítulo anterior sobre los parámetros ambientales que influyen en la habitabilidad de los contenedores para interpretarlos.

#### **3.1. Análisis de resultados estructurales**

Los cálculos estructurales muestran que un contenedor marítimo es un elemento estructural bueno ya que es capaz de soportar grandes cargas, además de ser un elemento liviano, ya que está conformado por lámina de acero. Su bajo peso hace que la cimentación no reciba cargas tan altas siendo un elemento constructivo que ofrece ventajas en suelo blandos y con baja capacidad soporte.

#### **3.2. Análisis de resultados de sonido**

En base a los datos obtenidos se puede decir que en situaciones ambientales normales el nivel de presión sonora dentro del contenedor Dry Van de 20 pies utilizado para las pruebas no excede los límites indicados por la OMS, que es de 85 dB para considerarse como ruido dañino para las personas, ya que el nivel máximo medido fue el provocado por una lluvia y fue de 61,8 dB, que la OMS lo clasifica como ruido normal.

Se podría pensar que el acero con el que se encuentra construida la mayor parte del contenedor marítimo afectaría en la intensidad del ruido dentro del espacio habitable y considerando que la velocidad del sonido en el acero es de 6 100 m/s y en el aire es de 343,2 m/s se pensaría que el contenedor es un

elemento constructivo bastante ruidoso. Se debe tener claro que el sonido al atravesar el contenedor se propagará más rápido, pero, no será más intenso que la fuente emisora además de que los paneles del contenedor tienen un espesor de 2,00 mm que es muy delgado como para aumentar la velocidad de manera perceptible.

La única forma en la que el contenedor podría producir sonidos con una presión sonora alta es, si recibe el impacto directo de algún material denso, pero estos eventos ocasionados por golpes suelen durar muy pocos segundos. Si estos impactos superan los 85 dB su duración será mucho menor a las 8 horas/día que regula el Acuerdo Gubernativo 229-2014, por lo que se podría decir que un contenedor marítimo se mantiene en los rangos normales de sonido para uso habitacional.

Un evento natural que podría producir niveles altos de sonido será una tormenta con granizo, que, aunque son eventos con mucha frecuencia en el país, especialmente en el área de Villa Nueva, no suelen suceder más de cinco tormentas anuales de este tipo.

### **3.3. Análisis de resultados de temperatura**

Se analizarán los resultados obtenidos por el termómetro dentro del contenedor Dry Van de 20 pies. En la tabla XXI se muestran los valores máximos y mínimos medidos por una función especial del termómetro que permite guardar en la memoria interna de este los valores máximos y mínimos registrados en un periodo de 24 horas. Esta función no tiene la capacidad de guardar la hora exacta en la que ocurrieron esos valores. De esta función se sabe que el 30 de marzo de 2016 la temperatura dentro del contenedor tuvo un máximo de 46.9 °C, y el 10 de febrero de 2016 la temperatura mínima fue de 7,10 °C.

El valor de 46,9 °C indica que esta temperatura solo pudo ocurrir cuando la radiación solar se encontraba en su máxima intensidad, esto es de 10:00 -13:00. Además, esta temperatura ocurrió a finales del mes de marzo, sabiendo que en Guatemala la época calurosa sucede entre los meses de marzo-mayo, estos meses presentan menor nubosidad. Esto da una idea de la temperatura tan alta que llega a ocurrir dentro de un contenedor.

El valor de 7,10 °C indica que este valor pudo haber ocurrido cuando el contenedor no estaba expuesto a la radiación solar y pasó el tiempo suficiente para consumir el calor almacenado durante el día, por lo que pensar que esta temperatura se alcanzó en horas de la madrugada es lo esperado. Esa temperatura baja sucedió a principios del mes de febrero, aunque en esa fecha los frentes fríos provenientes del norte aun afectan al país.

En la figura 57 se muestra la temperatura dentro del contenedor en el tiempo ocurrido de febrero hasta mayo, de esta grafica se puede observar un incremento de temperatura en los valores del interior y la temperatura ambiente fuera de esté. Este aumento es lógico ya que en el mes de febrero aún se considera época fría y mayo es uno de los más caluroso a nivel nacional. La gráfica no muestra un comportamiento lineal ya que una de las variables es la presencia de nubosidad y viento, lo que provoca la oscilación en los datos.

Las gráficas 58, 59 y 60 muestran la variación de la temperatura en el contenedor durante el día, lo que se resalta de estas gráficas es como la diferencia de temperatura durante la mañana y la tarde son muy próximas, llegado a igualarse al llegar la noche. Se ve también como la máximas diferencias de temperatura ocurren de 12:00-14:00 horas, llegando a una diferencia máxima entre el interior y el exterior de 9,9 °C que es cuando la radiación solar se encontraba en su máxima intensidad, de esto se puede deducir que la

temperatura dentro del contenedor depende directamente de la intensidad de los rayos solares. En la gráfica 58 se logra ver como oscila la temperatura exterior e interior y esto se debe a la nubosidad predominante ese día, y eso explica porque la temperatura no tiene un comportamiento lineal.

Al parecer el contenedor en ausencia de radiación solar directa iguala su temperatura con la del ambiente exterior, parece lógico si se considera que el acero es buen un conductor térmico con un coeficiente térmico ( $\lambda$ ) de 47-58 W/(K-m) por lo que al recibir directamente los rayos del sol aumentará su temperatura recordando que para un material isótropo la conductividad térmica es un escalar  $\lambda$  definido como:

$$\lambda = q / |\nabla T|$$

donde:

$q$ = es el flujo de calor (por unidad de tiempo y unidad de área).

$\nabla T$ = gradiente de temperatura.

El metal por su alta capacidad de conducir calor recibe directamente los rayos del sol, calentándose y provocando que todo el aire en el interior del contenedor también aumente su temperatura, si el contenedor se mantiene cerrado no existe alguna forma de enfriarlo interiormente.

De lo obtenido por las mediciones realizadas se puede decir que un contenedor marítimo tendrá la misma temperatura que el exterior en ausencia de radiación solar y tendrá un aumento de +10 °C respecto de la temperatura ambiente exterior al recibir los rayos solares directamente. Un contenedor marítimo por los materiales con lo que está construido no tiene la capacidad de aislamiento térmico para detener los cambios de temperatura del ambiente. En los meses de noviembre a febrero la temperatura más baja promedio es de

12 °C en el valle de la ciudad de Guatemala, por lo que será tan frío que no se encontrará en la zona de confort térmico indicados en el diagrama de Olgyay. en el que es de 18 °C y el en los meses de verano su temperatura podría llegar a los fácilmente a los 45 °C, siendo estas temperaturas bastante extremas para la salud de un humano promedio.

Una de las formas de lograr que la temperatura de un contenedor sea más confortable es por medio del uso de aislamientos térmicos o por medio calefacción o sistemas de aire acondicionado. Entre los métodos de aislamientos térmicos se pueden utilizar los revestimientos de tablayeso, madera, fibrocemento, espumas de poliuretano y fibra de vidrio para colocar entre los paneles laterales y techo, los revestimientos pueden ser colocados en el interior o exterior de los paneles interiores. Una de las formas comunes de evitar que los rayos solares afecten directamente a un contenedor para uso habitacional es la instalación de un techo de la misma forma en que se muestra en la figura 38.

Ante los resultados obtenidos con las mediciones logradas aquí en el valle de la ciudad de Guatemala todo parece indicar que un contenedor en climas muy cálidos como la costa del pacífico o en el norte del país llegaría a temperaturas tan altas que sería inhabitable y el climas como el altiplano guatemalteco las temperaturas sería muy bajas considerado que en la ciudad de Quetzaltenango la temperatura en época fría alcanza los 0 °C , se podría decir que un contendor no es apto para esos lugares sin el uso de aislamiento térmicos.



## CONCLUSIONES

1. Por su resistencia a las fuerzas de la naturaleza, resistencia estructural y fácil acomodo a las necesidades del cliente el contenedor marítimo se puede usar de forma segura en la construcción de viviendas, oficinas y apartamentos, además de ser un elemento de fácil obtención en Guatemala.
2. Para utilizar un contenedor marítimo como elemento estructural de una vivienda es necesario mantener la mayor parte de este intacto, especialmente los esquineros que son las columnas principales de toda la estructura ya que son los encargados de soportar el peso de la estructura completa. Además, hay que verificar que los paneles principales no sean retirados en su totalidad. Todo esto es importante de verificar especialmente si el lugar donde serán utilizados es altamente sísmico
3. Con base en las mediciones realizadas se puede decir que un contenedor se mantiene en los niveles de ruido considerados por la OMS como saludables, esto en base a condiciones ambientales y ocupacionales normales, considerando que las pruebas se realizaron en el municipio de Villa Nueva departamento de Guatemala.
4. Las mediciones de temperatura realizadas dentro de un contenedor marítimo indican que la temperatura dentro de este, cuando está expuesto a los rayos solares directos, es mayor que la temperatura ambiental exterior, llegando a un máximo de +10 °C de diferencia. Lo anterior muestra que un contenedor en época de verano, que es un ambiente muy

cálido incluso llega a sobrepasar los niveles considerados saludables. Estas mismas mediciones indicaron que en ausencia de rayos solares, en sombra o en días nublados el contenedor pierde rápidamente calor e iguala la temperatura con el exterior. Las mismas mediciones indican que el contenedor en horas de la noche y madrugada tiene la misma temperatura interna que la exterior del ambiente, siendo en horas de la noche muy frío, por lo que se podría decir que un contenedor marítimo en el departamento de Guatemala, no se encuentra en rango de temperatura saludable para uso habitacional, aunque este problema se puede resolver con aislantes térmicos interno o externos.

5. La adquisición de un contenedor requiere de trámites de aduana ya que son equipos de transporte internacional, por lo que, la compra involucra trámites con la Superintendencia de Administración Tributaria para la legalización en el país. Aunque es común que las empresas de transporte o almacenaje los vendan al consumidor final ya legalizados.

## RECOMENDACIONES

1. Antes de utilizar un contenedor para uso habitacional es importante ver el estado en que se encuentra, ya que es común que dejen de ser utilizados en el transporte de mercaderías por haber sufrido accidentes, y esto provoca que el contenedor se encuentre deformado y con piezas rotas. Regularmente los golpes se encuentran en los paneles laterales por accidentes automovilísticos o el piso roto por mala manipulación en el montaje.
2. Es importante saber que los contenedores están pintados con pintura anticorrosiva y el piso de madera tiene un tratamiento especial con funguicida anti insectos, por ello, en caso de un incendio emitirá vapores altamente tóxicos para la salud.
3. Ante los problemas de cambios de temperatura interna del contenedor respecto del exterior se recomienda aislar los contenedores con materiales que tenga una alta resistencia térmica, entre estos se encuentra la madera, la fibra de vidrio, paneles de tablayeso o fibrocemento, polímeros y hule. Estos aislantes térmicos se pueden colocar en la parte interior y/o exterior de los paneles del contenedor, logrando evitar el sobrecalentamiento del metal con el que está construido el contenedor durante el día y evitando la pérdida de calor durante la noche, así se logra mayor confort térmico, estos aislantes pueden incluso ser decorativos. Una forma de evitar que los rayos del sol calienten un contenedor es colocando sobre estos un techo o tejado.

4. Para disminuir el ruido dentro de un contenedor el aislamiento exterior es la mejor solución, este tipo de aislamiento se logra con la instalación en las caras exteriores del contenedor de paneles de fibrocemento, madera, polímeros o cualquier material resistente al exterior y que evite el impacto de todo objeto directo con los paneles o techo del contenedor. La instalación de un sobre-techo o tejado de lámina termo-acústica ayuda a evitar el ruido que podría provocar una fuerte tormenta o lluvia con granizo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. *Acuerdo Gubernativo 229-2014*, artículo 181-183.
2. American Institute of Steel Construction. *Factor Desing*, Inc. Tabla 1-5.
3. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural de edificios y obras de infraestructura para la República de Guatemala*. Guatemala: AGIES, 2010. 75 p.
4. BARON, Carlos. *A.C: Arquitectura de contenedores*. Revista publicada en 2009. p. 5.
5. *Código de diseño sismorresistente UBC 1997*. Sección V.
6. *Confort térmico*. [en línea].  
<[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=11&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwihx6XpoqbVAhVD4iYKHXU2D8kQFghSMAo&url=http%3A%2F%2Fwww.construmatica.com%2Fconstrupedia%2FConfort\\_T%25C3%25A9rmico&usg=AFQjCNHqwgMhDyP1NoPDkNieUI-Y2SxUsg](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=11&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwihx6XpoqbVAhVD4iYKHXU2D8kQFghSMAo&url=http%3A%2F%2Fwww.construmatica.com%2Fconstrupedia%2FConfort_T%25C3%25A9rmico&usg=AFQjCNHqwgMhDyP1NoPDkNieUI-Y2SxUsg)>. [Consulta: marzo 2017].
7. *Container Technics*. [en línea].  
<<http://www.nauticexpo.com/prod/container-technics/product-32424-432713.html>>. [Consulta: noviembre 2017].

8. DE AYARRA, Juan Manuel. *La construcción con contenedores marítimos*. [ en línea]. < <http://www.mimbrea.com/contruccion-con-contenedores-martimos/#sthash.fw9xUH4N.dpuf>>. [Consulta: diciembre de 2015].
9. HERNÁNDEZ, Adriana. *Contaminación acústica*. [en línea]. <<http://www.webconsultas.com/belleza-y-bienestar/medioambiente/niveles-de-ruido-de-tu-entorno>>. [Consulta: abril 2017].
10. HERNÁNDEZ, Pedro. *Diagrama Bioclimático de Olgyay*. [ en línea]. <[https://pedrojhernandez.files.wordpress.com/2014/03/tablas\\_pc3a1gina\\_1.jpg](https://pedrojhernandez.files.wordpress.com/2014/03/tablas_pc3a1gina_1.jpg)>. [Consulta: abril de 2017].
11. *Historia del contenedor*. [en línea]. <<http://blogistica.es/historia-del-contenedor>>. [Consulta: noviembre de 2015].
12. *Historia y curiosidades del contenedor marítimos*. [en línea]. (<http://grevillecontainers.com/informacion/datos-historia-contenedor.html>). [Consulta: noviembre de 2015].
13. <<http://www.hamburgcruisecenter.eu/en/gallery/hamburg-cruise-center-hafencity>>. [Consulta: enero de 2016]
14. JURE, Kotnik. *Container Architecture*, este libro contiene 6.441 contenedores, editoriales Links Books, 2008. p 36-96.

15. KALKIN, Adam. *12 Container House*. [en línea]. <<http://ideasgn.com/architecture/12-container-house-adam-kalkin/>>. [Consulta: febrero de 2016].
16. *La construcción con contenedores marítimos*. [en línea]. <<https://www.veslcontenedores.com/construccion-con-contenedores>>. [Consulta: febrero 2016].
17. MARTÍNEZ, Carlos Mey. *Historia y arqueología marítima*. [en línea]. <<http://www.histarmar.com.ar/Legales/ManualC-03.htm>>. [Consulta: marzo de 2016].
18. *McLean y la caja que cambió el transporte de mercancías*. [en línea]. <<https://www.tibagroup.com/mx/mclean-y-la-caja-que-cambio-la-historia-del-comercio>>. [Consulta: abril de 2016].
19. *Niveles de ruido*. [en línea]. <<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiy0sKto6bVAhUBOiYKHeKLAioQFghKMAk&url=http%3A%2F%2Fwww.inercoacustica.com%2Facustipedia%2Fitem%2F410-niveles-de-ruido&usg=AFQjCNGJ-uk5TfmfiNFqKUrqf1nlf1lg2A>>. [Consulta: marzo 2017].
20. *Origen e historia de los contenedores del transporte marítimos*. [en línea]. <<https://www.moldtrans.com/origen-e-historia-de-los-contenedores-del-transporte-maritimo/>>. [Consulta: noviembre de 2015].

21. *Papertainer museum*. [en línea].  
<<http://egloos.zum.com/arthuremma/v/2718532>>. [Consulta: enero de 2016].
22. RAYMON A. SERWAY, John Jewett Jr. *Física para ciencias e ingeniería*. volumen 1, 6a edición. 2005 internacional Thomson editores S.A. p 512.
23. ROY R. CRAIG, Jr. *Mecánica de Materiales, segunda edición*, Compañía editorial Continental, 2002, apéndice D-11.
24. Secretaria General de la Comunidad Andina. *Manual Sobre Control de Contenedores*, Proyecto PRADICAN. 2013.

## APÉNDICE

Apéndice 1. **Resultados obtenidos por el programa SAP2000 V.15.1.0. en relación a las reacciones y momentos del contenedor de 40 pies analizado**

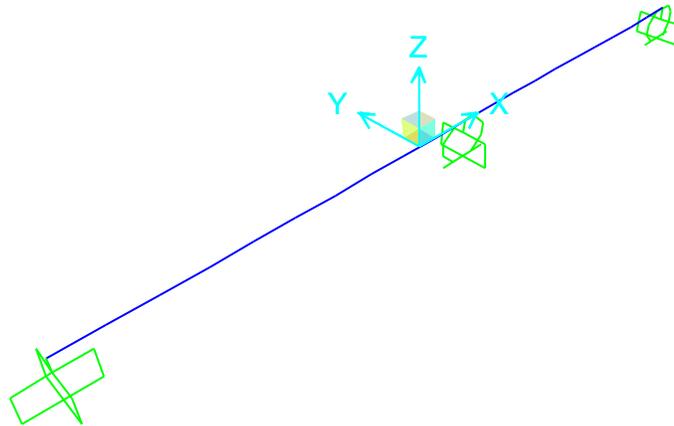


Figura 2.

Table 1: fuerzas en uniones.

Joint	U1 Kgf- s2/m	U2 Kgf- s2/m	U3 Kgf- s2/m	R1 Kgf-m- s2	R2 Kgf-m- s2	R3 Kgf-m- s2
1	10.24	10.24	10.24	0.00	0.00	0.00
2	20.48	20.48	20.48	0.00	0.00	0.00
3	10.24	10.24	10.24	0.00	0.00	0.00

resultados

Continuación de apéndice 1.

Tabla 2: Modalidad de relaciones de masa participantes

OutputCase	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumU X	SumU Y	SumU Z
		Sec						
MODAL	1.000000	0.00975	0.971	0.000	0.000	0.971	0.000	0.000
MODAL	2.000000	0.00404	0.029	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000

Reacciones en bases.

Tabla 3: reacciones.

OutputCase	GlobalF X Kgf	GlobalF Y Kgf	GlobalF Z Kgf	GlobalM X Kgf-m	GlobalM Y Kgf-m	GlobalM Z Kgf-m
DEAD	0.00	0.00	4950.99	0.00	-5.457E- 12	0.00

Resultado de juntas.

Esta sección proporciona resultados conjuntos, incluidos elementos tales como desplazamientos y reacciones.

Tabla 4: desplazamiento en juntas.

Junta	OutputCase	U1 M	U2 m	U3 m	R1 Radiane s	R2 Radiane s	R3 Radiane s
1	DEAD	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	DEAD	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00039	0.00000
3	DEAD	0.0000	0.00000	0.00000	0.00000	-0.00160	0.00000

Continuación de apéndice 1.

Tabla 5: reacciones en juntas.

unión	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
		Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
1	DEAD	0.00	0.00	1152.43	0.00	-1069.6	0.00
2	DEAD	0.00	0.00	2824.39	0.00	0.00	0.00
3	DEAD	0.00	0.00	974.16	0.00	0.00	0.00

Resultado de marcos.

En esta sección se presentan las fuerzas en los marco

Continuación apéndice 1.

Table 6: fuerzas en elemento – marco 1 y 2.

elemento	estación m	OutputCase	P Kgf	V2 Kgf	V3 Kgf
1	0.00000	DEAD	0.00	-1152.43	0.00
1	0.50000	DEAD	0.00	-946.14	0.00
1	1.00000	DEAD	0.00	-739.85	0.00
1	1.50000	DEAD	0.00	-533.56	0.00
1	2.00000	DEAD	0.00	-327.27	0.00
1	2.50000	DEAD	0.00	-120.98	0.00
1	3.00000	DEAD	0.00	85.31	0.00
1	3.50000	DEAD	0.00	291.60	0.00
1	4.00000	DEAD	0.00	497.90	0.00
1	4.50000	DEAD	0.00	704.19	0.00
1	5.00000	DEAD	0.00	910.48	0.00
1	5.50000	DEAD	0.00	1116.77	0.00
1	6.00000	DEAD	0.00	1323.06	0.00
2	0.00000	DEAD	0.00	-1501.33	0.00
2	0.50000	DEAD	0.00	-1295.04	0.00
2	1.00000	DEAD	0.00	-1088.75	0.00
2	1.50000	DEAD	0.00	-882.46	0.00
2	2.00000	DEAD	0.00	-676.17	0.00
2	2.50000	DEAD	0.00	-469.88	0.00
2	3.00000	DEAD	0.00	-263.59	0.00
2	3.50000	DEAD	0.00	-57.29	0.00
2	4.00000	DEAD	0.00	149.00	0.00
2	4.50000	DEAD	0.00	355.29	0.00
2	5.00000	DEAD	0.00	561.58	0.00
2	5.50000	DEAD	0.00	767.87	0.00
2	6.00000	DEAD	0.00	974.16	0.00

Continuación apéndice 1.

Tabla 7: fuerza en elemento - marco, 2 de 2.

elemento	estación	OutputCase	T	M2	M3
	m		Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
1	0.00000	DEAD	0.00	0.00	-1069.63
1	0.50000	DEAD	0.00	0.00	-544.99
1	1.00000	DEAD	0.00	0.00	-123.49
1	1.50000	DEAD	0.00	0.00	194.86
1	2.00000	DEAD	0.00	0.00	410.07
1	2.50000	DEAD	0.00	0.00	522.13
1	3.00000	DEAD	0.00	0.00	531.05
1	3.50000	DEAD	0.00	0.00	436.82
1	4.00000	DEAD	0.00	0.00	239.44
1	4.50000	DEAD	0.00	0.00	-61.08
1	5.00000	DEAD	0.00	0.00	-464.74
1	5.50000	DEAD	0.00	0.00	-971.55
1	6.00000	DEAD	0.00	0.00	-1581.51
2	0.00000	DEAD	0.00	0.00	-1581.51
2	0.50000	DEAD	0.00	0.00	-882.42
2	1.00000	DEAD	0.00	0.00	-286.47
2	1.50000	DEAD	0.00	0.00	206.33
2	2.00000	DEAD	0.00	0.00	595.99
2	2.50000	DEAD	0.00	0.00	882.50
2	3.00000	DEAD	0.00	0.00	1065.86
2	3.50000	DEAD	0.00	0.00	1146.08
2	4.00000	DEAD	0.00	0.00	1123.16
2	4.50000	DEAD	0.00	0.00	997.09
2	5.00000	DEAD	0.00	0.00	767.87
2	5.50000	DEAD	0.00	0.00	435.51
2	6.00000	DEAD	0.00	0.00	-2.615E-12

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 2. Contenedor siendo forrado en interior con tablayeso**



Fuente: elaboración propia, empresa Ahilsa Construcciones.

**Apéndice 3. Manipulación de contenedor de 20 pies con grúas**



Fuente: elaboración propia, empresa Ahilsa Construcción

## ANEXOS

### Anexo 1. Tipos de contenedores y dimensiones

20 PIES STANDARD (dry cargo) 20' x 8' x 6'					
MEDIDA	EXTERNA (metros/pies)		INTERNA (metros/pies)		
LARGO	6.05m	20'	5.90m	19'4"	
ANCHO	2.43m	8'	2.34m	7'8"	
ALTO	2.59m	8'6"	2.40m	7'10"	

40 PIES STANDARD (dry cargo) 40' x 8' x 6'					
MEDIDA	EXTERNA (metros/pies)		INTERNA (metros/pies)		
LARGO	12.19m	40'	12.03m	39'6"	
ANCHO	2.43m	8'	2.34m	7'8"	
ALTO	2.59m	8'6"	2.40m	7'10"	

40 PIES high cube STANDARD (dry cargo) 40' x 8' x 9'6"					
MEDIDA	EXTERNA (metros/pies)		INTERNA (metros/pies)		
LARGO	12.19m	40'	12.03m	39'6"	
ANCHO	2.43m	8'	2.34m	7'8"	
ALTO	2.89m	8'11"	2.59m	8'6"	

Fuente: <http://swallowtrade.com/caracteristica-de-los-contenedores/>. Consulta: noviembre de 2017.

