

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Diseño estructural de una canasta helitransportable de 2  
toneladas de capacidad”

**INFORME DE TRABAJO PROFESIONAL**

Examen Complexivo

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Mariela Monserrate Mera Roca

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2015

## AGRADECIMIENTO

A mi mamá Mirna Roca y mi Papá Vicente Mera que hicieron posible mi educación, gracias por todo su esfuerzo y dedicación.

A demás familiares, en especial a Sonia, gracias por todo el apoyo y cariño.

A mis amigos por el ánimo a seguir adelante.

A mis maestros, a mi trabajo y a mi colega Patricio Medina, que de una manera u otra han colaborado con la realización de este trabajo.

## DEDICATORIA

Con todo mi cariño y amor, para mis hijos Ían y Monserrat, son mi motor de vida.

A mi mejor amigo y esposo Juan C. Pindo por la paciencia, comprensión, y por estar siempre a mi lado inspirándome a ser mejor, este trabajo lleva una parte de ti.

Al más especial de todos, a ti señor Dios, porque hiciste realidad esta etapa de mi vida. Este trabajo es para ti.

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

M.Sc Jorge Marcial  
VOCAL

---

M.Sc. Efraín Terán  
VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este Informe de Trabajo Profesional me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

Mariela Monserrate Mera Roca

## RESUMEN

La demanda creciente de energía por parte de la población hace que se exploren fuentes de combustibles como el petróleo cada vez más alejadas, las que se encuentran en alta mar o en lugares con restricciones ambientales, en donde no se cuenta con accesos por vía terrestre. Es en estos lugares donde el transporte tanto de personal como de materiales se los realiza mediante helicópteros. Para esto se requieren elementos que cumplan con normas estructurales internacionales para ser utilizadas por lo que se debe realizar el diseño estructural de una canasta metálica helitransportable que cumpla las especificaciones técnicas de las normas y códigos aplicables a este tipo de estructuras, y que pueda construirse con materiales del mercado; creando así una guía metodológica que sirva de referencia para diseños similares. El diseño de toda la canasta se lo realizó considerando las especificaciones AISC-LRFD, API, ANSI y normas sobre diseño de puntos de elevación seguro de cargas de la BS. La estructura se analizó por elementos finitos, primero se definió la geometría, luego se realizó el modelo, se asignó secciones, apoyos, cargas y la combinación de cargas de diseño, posteriormente se ejecutó el modelo y se determinó las deformaciones y coeficientes de seguridad en los perfiles, y los esfuerzos combinados en las placas. En las orejas de izaje se calculó el espesor mínimo requerido para que no falle por contacto y aplastamiento, también se determinó el radio externo de la oreja para que no falle por corte; luego se calculó el esfuerzo generado en la soldadura y sus

dimensiones. Del análisis se obtuvo que la canasta presentó la mayor deformación en los perfiles y placas del piso con esfuerzos menores al esfuerzo de fluencia, el esfuerzo cortante generado en las orejas no excedió el esfuerzo permisible, y el esfuerzo generado en la soldadura no excedió la resistencia nominal. Así se concluye que la canasta Helitransportable es una estructura estable que resiste adecuadamente los esfuerzos de trabajo por cumplir con las normas, que puede ser construida fácilmente con materiales disponibles en el mercado local, y que puede ser utilizada sin producirse fallas mientras no se exceda la carga de diseño.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. ANTECEDENTES.....	2
1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	2
1.2. ANALISIS DEL PROBLEMA.....	2
CAPÍTULO 2	
2. MATERIALES Y METODOS .....	5
2.1 NORMAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS.....	5
2.2 METODOLOGÍA.....	8
CAPÍTULO 3	
3. DISEÑO.....	11
3.1 CRITERIOS Y RESTRICCIONES.....	11
3.2 DISEÑO DE FORMA.....	12

3.3 DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS APLICADAS A LA ESTRUCTURA.....	18
3.4 DISEÑO Y SELECCIÓN DE PUNTOS DE ELEVACIÓN.....	22
3.4.1 DISEÑO DE OREJAS DE IZAJE.....	24
3.4.2 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE DE IZAJE.....	29
3.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LA CANASTA.....	35
CAPÍTULO 4	
4. RESULTADOS.....	60
4.1 RESULTADOS DEL MODELO INICIAL .....	60
4.2 RESULTADOS DEL MODELO MODIFICADO PARA ELEMENTOS LINEALES.....	62
4.3 RESULTADOS DE LOS ELEMENTOS TIPO ÁREA.....	64
4.4 MATERIALES DEFINITIVOS RESULTANTE DEL DISEÑO.....	67
CAPÍTULO 5	
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69

## ABREVIATURAS

SAP2000	Structural Analysis Program 2000
AISC	American Institute of Steel Construction
LRFD	Load and Resistance Factor Design
DCCR	Diseño con Coeficientes de Carga y Resistencia
ASTM	American Society for Testing and Materials
MEF	Método de Elementos Finitos
API	American Petroleum Institute
BS	British Standards
COMB	Combinación
SVM	Esfuerzos de Von Mises

## SIMBOLOGÍA

$R_n$	Resistencia nominal
$Q$	Carga de Servicio
$\emptyset$	Coeficiente de Resistencia
$\lambda_1$	Coeficiente de Carga Mayorada
$W$	Carga total de la canasta
$F_H$	Factor de amplificación Dinámica
$W_H$	Carga de ganchos
$W_a$	Tolerancia de carga
$W_i$	Carga por cada unidad de oreja de izaje
$F$	Carga por cada eslinga de izaje
$r_o$	Radio externo de oreja
$d_p$	Diámetro de la oreja
$e$	Espesor propuesto de la oreja
$A_\tau$	Área de Corte
$\tau$	Esfuerzo Cortante
$\tau_p$	Esfuerzo Cortante permisible
$\sigma_c$	Esfuerzo de Contacto
$\sigma_y$	Esfuerzo de fluencia
$\sigma_{cp}$	Esfuerzo de contacto aplastamiento
$t_{req}$	Espesor mínimo requerido

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Metodología establecida para el diseño de la Canasta Helitransportable.....	10
Figura 2	Geometría y Dimensiones de la Canasta. Vistas Ortogonales.....	13
Figura 3	Geometría de la Canasta Helitransportable. Vista en 3D.....	14
Figura 4	Esquema de Izaje de la canasta con sus componentes.....	15
Figura 5	Especificaciones generales de tubo estructural cuadrado.....	17
Figura 6	Especificaciones generales de lancha autodeslizante.....	17
Figura 7	Esquema de plancha expandida .....	18
Figura 8	Diagrama de cuerpo libre de la Canasta.....	21
Figura 9	Esquema de un punto de izaje.....	22
Figura 10	Esquema de Oreja de izaje.....	26
Figura 11	Fuerza de la eslinga $F_e$ .....	31
Figura 12	Longitud de la eslinga .....	32
Figura 13	Esquema de Grillete.....	34
Figura 14	Esfuerzos y Desplazamientos en función del número de elementos (discretización).....	38
Figura 15	Variación de los valores de esfuerzos - discretización.....	40
Figura 16	Distribución de esfuerzos a lo largo del eje $y$ .....	41
Figura 17	Distribución de esfuerzos a lo largo del eje $y$ y seleccionado en la figura 12.....	41

Figura 18	Modelo de la Canasta en elementos finitos.....	43
Figura 19	Representación de la distribución de la carga viva.....	46
Figura 20	Distribución de la carga viva asignada al piso de la estructura...	47
Figura 21	Zoom en un extremo de la carga viva asignada al piso de la estructura.....	47
Figura 22:	Modelo Inicial .....	49
Figura 23:	Modelo Modificado .....	50
Figura 24:	Deformación en elementos lineales de la estructura.....	51
Figura 25:	Deformación máxima en elemento lineal de la estructura.....	51
Figura 26:	Coeficientes de relación de esfuerzos.....	52
Figura 27:	Esfuerzos de Von Mises en vista de perspectiva.....	53
Figura 28:	Esfuerzos de Von Mises en vista de proyección.....	53
Figura 29:	Deformaciones en piso, unidades en mm.....	54
Figura 30:	Secciones diseñadas para los elementos lineales.....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Esfuerzos de Diseño.....	27
Tabla 2	Convergencia de los Esfuerzos (discretización).....	37
Tabla 3	Convergencia de los Desplazamientos (discretización).....	38
Tabla 4	Lista de Materiales Definitivo - (Por tipo de sección).....	55

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Dimensionamiento General de la Oreja de Izaje.....	59
Plano2:	Vistas Ortogonales de la Canasta Helitransportable.....	60
Plano3:	Plano de Oreja de Izaje y soporte.....	61

# INTRODUCCIÓN

Se requiere la construcción de una Canasta Helitransportable con capacidad de 2000 Kg, para esto se realizará un diseño estructural de tal manera que se pueda determinar el comportamiento de la estructura sometida a cargas, previo a su construcción.

El diseño de la canasta se lo dividirá en dos partes, la primera parte analizará el problema y se establecerán los criterios y las restricciones, para luego continuar con la siguiente etapa que será el diseño estructural.

Las herramientas que se usarán serán las normas internacionales y nacionales, y el empleo del software para diseño por elementos finitos. La norma básica a usar es la AISC LRFD, las demás especificaciones son mencionadas en cada capítulo.

Este trabajo final de graduación puede servir como una guía metodológica de diseño para este tipo de estructuras, para dar a la industria metalmecánica las especificaciones técnicas necesarias para construir estructuras de calidad.

# CAPÍTULO 1

## 1. ANTECEDENTES.

### 1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Debido a las necesidades de transportar equipos y herramientas desde campamentos hasta localidades petroleras en nuestro país, y el riesgo de tener una falla en una canasta transportada por helicóptero así como la tendencia a sobredimensionar los materiales para evitar estas fallas, crean la necesidad de realizar diseños estructurales previos a la construcción basados en normativas establecidas para este tipo de estructuras.

### 1.2 ANALISIS DEL PROBLEMA.

Los equipos y herramientas que se ubican dentro de la canasta son los utilizados para trabajos varios en las localidades petroleras, estos vienen dispuestos de diferentes formas y tamaños según la función a cumplir. Las herramientas que se utilizan en las actividades de perforación son las que poseen más tamaño y peso, como lo son los Crossovers de  $\Phi 6"$  y  $\Phi 8"$ , los Collares de perforación y las brocas. Las canastas también son usadas para transportar equipos como

compresores, soldadoras y materiales mínimos como bronce, teflón, etc.

De acuerdo a lo estipulado en las normas de operaciones de carga externa con helicóptero, la canasta estará expuesta a las siguientes maniobras:

- La canasta se ubica a nivel del piso y con un adecuado método se colocan los equipos y herramientas en su interior utilizando montacargas.
- La canasta cargada se sujeta al helicóptero mediante estrobos, argollas y eslingas.
- El helicóptero despegar (asciende) con la canasta cargada.
- El helicóptero viaja con la canasta cargada a su destino.
- El helicóptero se acerca a las áreas de trabajo. Acercamiento a aterrizaje.
- Liberación de la canasta con el helicóptero en vuelo estacionario.
- Descarga de equipos y herramientas

También se considera que la canasta viaja vacía con el helicóptero (sin la carga de equipos y herramientas) al sitio inicial de su partida.

Las condiciones que generan cargas sobre la canasta son Las condiciones que generan cargas sobre la canasta son:

- El peso de los equipos y herramientas que se colocará dentro de la estructura; genera una carga no permanente que deberá ser soportada por la base de la canasta (piso) y demás elementos.
- Cuando la canasta es izada desde el reposo, se ejerce sobre ella cargas mayores debido a la fuerza de aceleración del helicóptero.
- Mientras la canasta es transportada por el helicóptero, las fuerzas del viento aplicadas a ella (en especial vientos fuertes) afecta a toda su estructura y en especial a los puntos de izaje.
- Las condiciones climáticas en alturas podrían afectar las operaciones del helicóptero lo cual afectaría directamente a la canasta.

## CAPÍTULO 2

### 2. MATERIALES Y METODOS

#### 2.1 NORMAS Y HERRAMIENTAS DE DISEÑO UTILIZADAS.

Las cargas que actúan sobre la canasta durante su operación hace necesario utilizar factores de seguridad en el diseño de tal manera que cubran los efectos de las fuerzas y las condiciones climáticas en alturas, para esto se ha aplicado códigos y normas locales e internacionales correspondientes para cada caso, como lo son:

- AISC 360-10, American Institute of Steel Construction; Especificaciones para edificios de Acero estructural de la ANSI/AISC
- ASME, American Society of Mechanical Engineers
- API, American Petroleum Institute, Recommended Practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms.
- BSI, British Estándar Institution.
- AWS, American Welding Society, Structural Welding Code-Steel.
- ASCE 7-10, American Society of Civil Engineers
- NEC-10, Norma Ecuatoriana de la construcción

El diseño estructural inicia con el diseño de las orejas de izaje para lo cual se utilizaron las normas BS6166 "Diseño de puntos de

elevación seguro de paquetes o cargas de ligero, mediano o alto peso” y API, de donde solo se tomaron aquellas recomendaciones relativas al diseño de puntos de elevación de ligero peso, también se utilizaron los documentos de referencia de Ingeniería de la Shell Exploration [1] como guía para el acople de información.

Para el diseño estructural del cuerpo y piso de la canasta se utilizó la herramienta de diseño asistido por computadora basado en la teoría de elementos finitos FEM; tomando en cuenta el número de elementos que forma la estructura de la canasta, la capacidad de procesamiento computacional basado en la teoría de elementos finitos se vuelve una herramienta que nos facilita el diseño y nos da resultados más exactos. La norma utilizada para este diseño es la AISC y el método es el LRFD “Diseño por Factores de Carga y Resistencia”.

Finalmente se procede a la selección de los elementos de izaje como lo son las eslingas, grilletes y argollas, para las cuales se utilizaron las normas ASME B 30.9 Y ASME B 30.26 y catálogos de proveedores de mercados locales.

**El diseño por el método de Elementos Finitos** fue pensado para ser desarrollado en computadoras permitiendo resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un problema físico sobre geometrías

complicadas, que son descompuestas en numerosos elementos de geometría sencilla y que tienen un modelo matemático conocido que los puede representar. Este proceso consiste en los operadores que transforman un conjunto de datos de entrada (criterios y restricciones) en otro conjunto de datos de salida. Los datos de salida generalmente son los desplazamientos, deformaciones, esfuerzos, cargas límites y coeficientes de seguridad obtenidos a partir de las ecuaciones constitutivas y condiciones de frontera (cargas y apoyos). El proceso a seguir consiste en la discretización y selección del tipo de elementos, selección de las funciones de desplazamiento, definición de las funciones o ecuaciones constitutivas, obtención de las matrices de rigidez de los elementos, matriz general o ensamblada del modelo, resolución de las ecuaciones en función de los grados de libertad, cálculo de las deformaciones y esfuerzos y finalmente análisis e interpretación de los resultados.

**El diseño por el método LRFD** se basa en los conceptos de estado límite, el mismo que describe una condición en el que la estructura, o alguna parte de ella deja de cumplir su función. Este estado límite se puede considerar de dos tipos: los de resistencia y los de servicio. Las especificaciones del AISC para el Diseño con Coeficientes de Carga y Resistencia DCCR (LRFD en inglés) exigen que se apliquen los coeficientes tanto a las cargas de servicio como a la resistencia

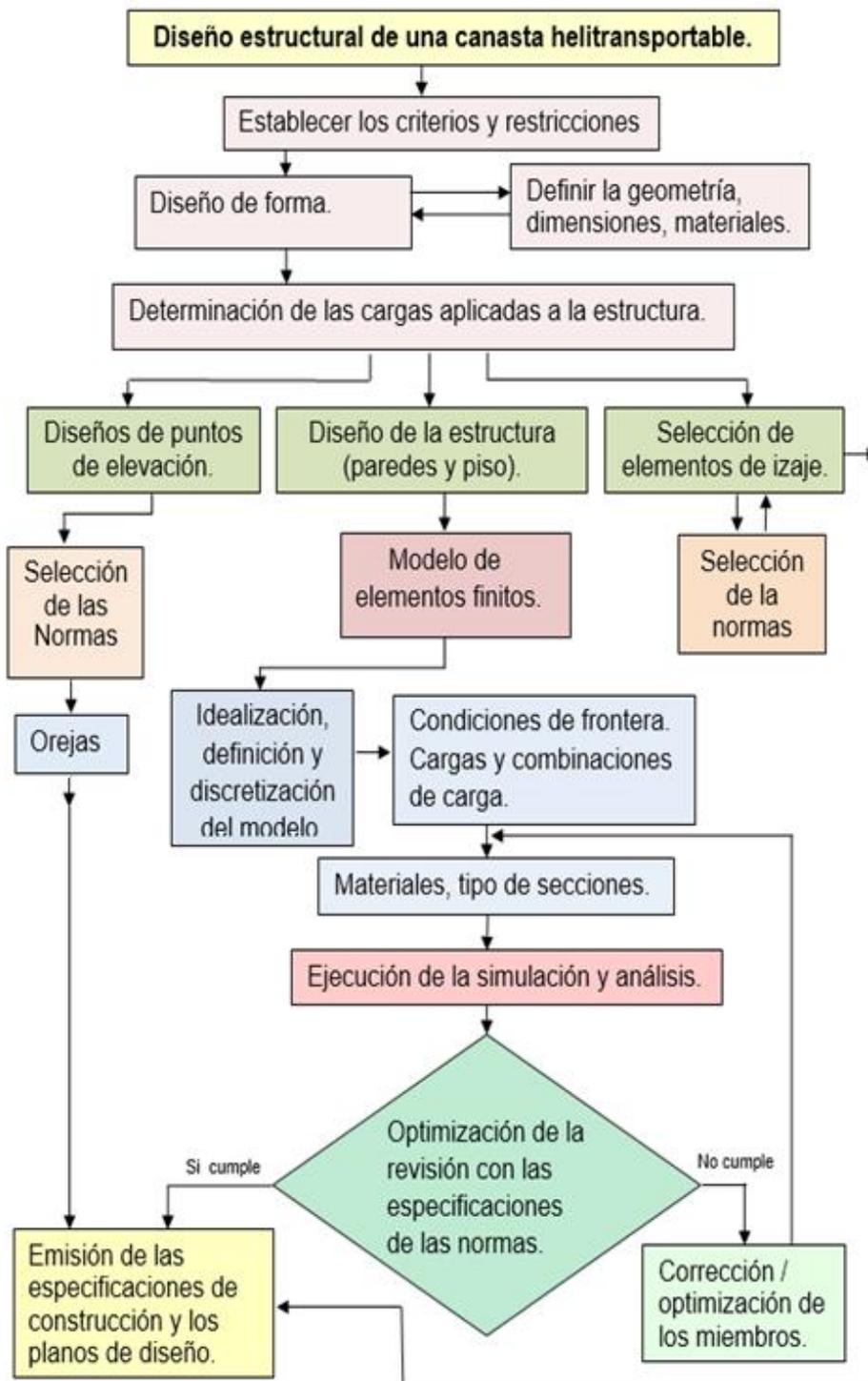
nominal de los miembros y conexiones. Para tener en cuenta las incertidumbres al estimar las cargas de servicios, se aplican a ellas coeficientes de carga generalmente mayores que la unidad [2, p. 6.21 ]. Para reflejar la variabilidad inherente en los pronósticos de la resistencia de un miembro o conexión, la resistencia nominal ( $R_n$ ) se multiplica por un coeficiente de resistencia ( $\phi$ ) menor que la unidad. Para asegurarse que un miembro o conexión tenga suficiente resistencia para soportar las cargas de servicio ( $Q_i$ , dichas cargas multiplicadas por los coeficientes de cargas apropiados (cargas mayoradas  $\lambda_i$ ) no deben sobrepasar las cargas de diseño ( $\phi$ )( $R_n$ ), esto es:

$$\sum_{i=1}^n (\lambda_i)(Q_i) \leq (\phi)(R_n)$$

## 2.2 METODOLOGIA

El proceso para el diseño de la canasta helitransportable se inicia estableciendo criterios y restricciones, luego se realiza un diseño de forma donde se define la geometría, dimensiones y materiales, y de acuerdo a esto se determina todas las cargas que son aplicadas a la canasta. A partir de este punto, se realizan los cálculos, análisis y selección de las partes de la estructura, la cuales se han dividido en tres, la primera son los puntos de elevación, la segunda son las paredes y piso de la canasta que llamaremos “estructura” y la tercera

parte son los elementos de izaje. Para cada parte se establece la norma y herramienta a utilizar, para luego seguir con los cálculos, análisis y selección. En la segunda parte (diseño de la estructura) se elige la herramienta de análisis por elementos finitos, esta inicia con la idealización, definición y discretización del modelo que consiste en la simplificación del sistema real en el que se mantiene la geometría y dimensiones; para la realización de este modelo se ha usado AutoCAD donde los elementos son dibujados con líneas tomando al eje centroidal como referencia y posteriormente son incorporados en el software de análisis estructural SAP2000. En este punto se eligen los elementos a utilizar en el modelo; que serán elementos lineales (frame) para los elementos que funcionan como vigas y columnas, y elementos tipo área de dos dimensiones (shell) para la plancha metálica. El diseño termina con la emisión de las especificaciones y planos de diseño (figura 1).



**Figura 1:** Metodología establecida para el diseño de una canasta helitransportable

## **CAPÍTULO 3**

### **3. DISEÑO.**

#### **3.1 CRITERIOS Y RESTRICCIONES.**

El diseño estructural será realizado con los siguientes criterios y restricciones:

- a. Capacidad máxima que soporta la canasta: 2000 Kgf o 2 Ton.
- b. Las herramientas que se colocarán dentro de la canasta serán las que poseen más tamaño y peso, y que son utilizadas para la perforación de pozos petroleros.
- c. La canasta será transportada mediante helicóptero un promedio de 3 veces a la semana.
- d. La estructura estará conectada con uniones articuladas en el aire la mayor parte del tiempo, por lo que las fuerzas de sismo no serán aplicadas en este caso.
- e. El helicóptero viaja con la canasta y la carga máxima dentro de ella por lo menos en las mínimas condiciones climáticas permitidas para realizar este tipo de vuelo, esto es sin lluvia ni turbulencias de viento.
- f. Las mínimas condiciones climáticas para despegar y aterrizar varían de acuerdo a la localidad, equipo e infraestructura disponibles, para este caso se considera que el Helicóptero

recoge y entrega la carga dentro de la ciudad del Coca (Francisco de Orellana, Ecuador).

- g. El helicóptero volará con la canasta y la carga máxima dentro de ella a la velocidad aérea operacional máxima permitida en la zona que es 87 nudos [Manuel de helipuertos, OACI].
- h. De acuerdo al tipo de helicóptero, a las condiciones climáticas promedio de la ciudad y la carga a llevar, se establece que la velocidad de ascenso del helicóptero es de 25.7 m/s a una distancia de 207mt [Manuel de helipuertos, OACI].
- i. Se considera que el centro de gravedad de toda la estructura a elevar está por debajo de los puntos de izaje y que la carga no se inclina más de 6 grados cuando se levanta [3].

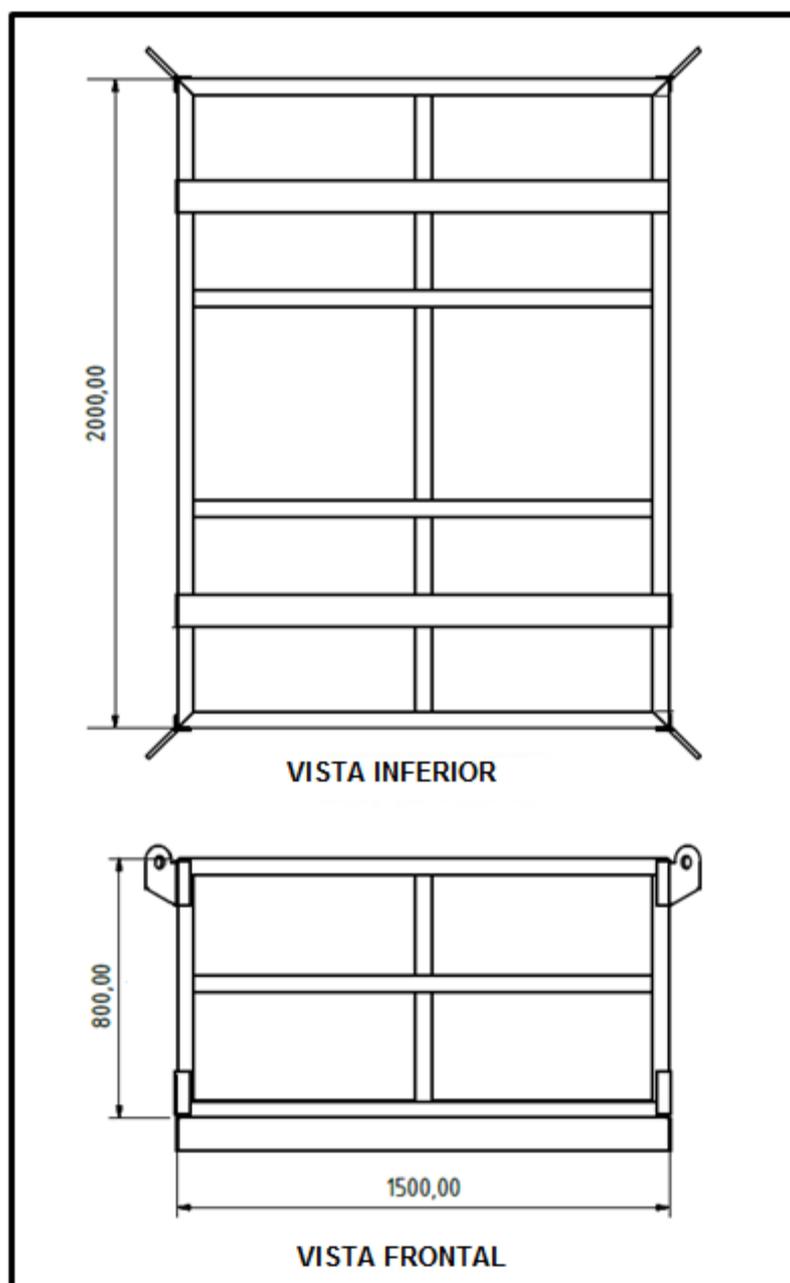
## **3.2 DISEÑO DE FORMA**

### **Geometría y Dimensiones**

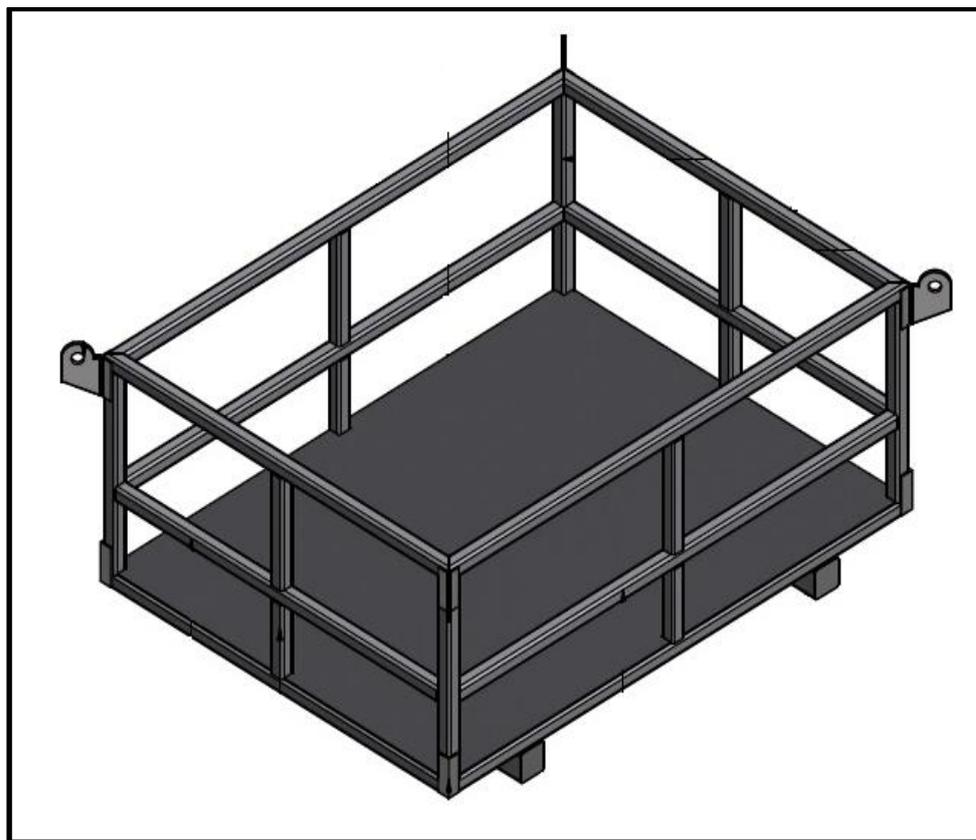
La canasta helitransportable debe ser de forma rectangular con una altura menor comparada con sus otras dos dimensiones debido a que las herramientas y equipos a transportar más pesados y grandes tienen forma tubular, como lo son los Crossovers de  $\Phi 8$ , cuya longitud máxima (en promedio) es de 1,88 mt.

Con el volumen que ocupa el grupo de equipos y herramientas, y la longitud del Crossovers de  $\Phi 8$  se obtiene las dimensiones externas

de la canasta las cuales son: 2m de largo x1.5 m de ancho x 0.8m de alto. La figura 2 y la figura 3 muestran la geometría y dimensiones elegida para la canasta.

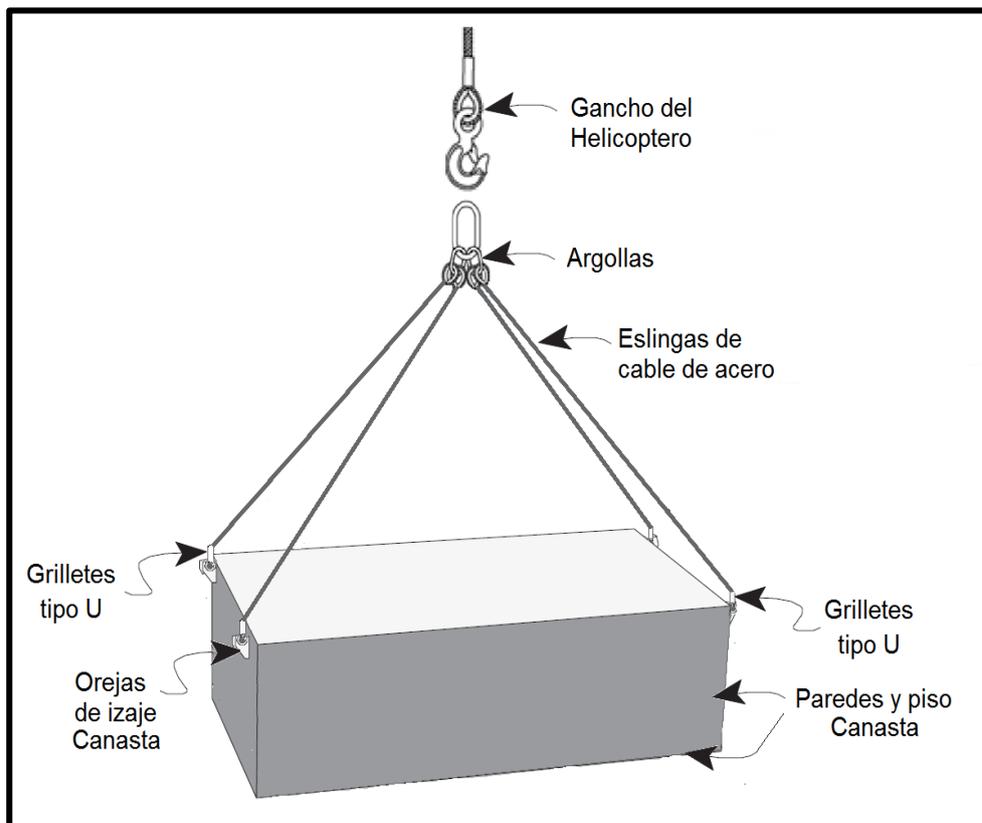


**Figura 2:** Geometría y Dimensiones de Canasta. Vistas ortogonales.



**Figura 3:** Geometría de Canasta Helitransportable. Vista en 3dimensiones.

Los elementos de izaje que se utilizan para elevar la canasta con el helicóptero son eslingas, grilletes y argollas, para este caso se usará una eslinga de cable de acero con grilletes tipo U de perno pasante. Las eslingas se conecta al gancho del helicóptero por medio de argollas, estas deben estar colocadas de tal manera que de cada argolla se derive en máximo dos según las especificaciones técnicas de la norma BS (figura 4).



**Figura 4:** Esquema de izaje de la canasta con sus componentes.

### **Materiales y secciones**

Se utilizará para la canasta perfiles estructurales conformados en frío debido a que hay más opciones para escoger rigidez comparada con las secciones de perfiles laminadas en caliente, también porque en el mercado local existe mayor disponibilidad de productos conformados en frío y son bajos en peso. Para el piso se utilizará plancha de Acero A-36. Los perfiles estructurales para las paredes y piso de la canasta serán de tubo cuadrado debido que se adapta muy

bien a la configuración de la canasta, facilita su construcción y, durante la operación facilita el trabajo con los montacargas.

El piso llevará un recubrimiento de plancha antideslizante y las paredes llevarán plancha de malla expandida con perforaciones rectangulares para salvaguardar los equipos y herramientas que se colocarán dentro de la canasta, se seleccionó este tipo de plancha porque las perforaciones que posee disminuyen las fuerzas de arrastre debido al efecto del viento y también porque son de bajo peso por tener más del 76% de área abierta.

Se ha designado un grupo de perfiles estructurales que son propuestos para realizar el diseño de la canasta y seleccionar de ellos el más idóneo de acuerdo al cumplimiento de las normativas:

- Para las paredes: Tubo cuadrado 50x50x3mm, 50x50x4mm, 60x60x3mm, 60x60x4mm y 60x60x5mm. En los puntos donde va la oreja de izaje se colocará un refuerzo con ángulo de 50x50x6mm (Figura 5).
- Para el piso: Tubo cuadrado 100x100x3mm, 100x100x4mm, 100x100x5mm, 100x100x6mm. (Figura 5).
- Para el recubrimiento del piso: Plancha acero A-36 antideslizante de espesores 4mm, 5mm, 6mm (Figura 6).

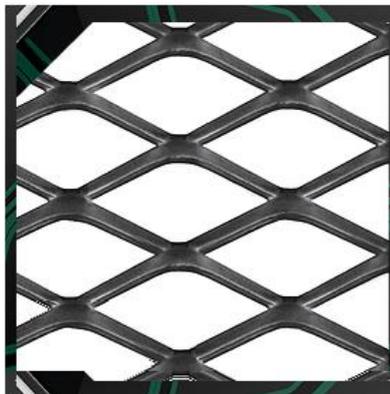
- Para las orejas de izaje: Acero A-36 cuyas dimensiones serán calculadas.
- Para el recubrimiento de las paredes: Plancha de malla expandida con perforaciones rectangulares de 32x63mm (Figura 7).



**Figura 5:** Especificaciones generales de tubo estructural cuadrado



**Figura 6:** Especificaciones generales de lancha autodeslizante



**Figura 7:** Esquema de plancha expandida

### **3.3 DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS APLICADAS A LA ESTRUCTURA.**

Las cargas a la que está expuesta la canasta antes durante y después de su operación son las siguientes:

- a) Carga debido al peso generado por los equipos y herramientas que se colocarán dentro de la estructura.- Estas cargas se considera como carga viva por ser una carga no permanente, es decir:  $Carga\ Viva = Peso\ de\ la\ carga\ a\ transportar = 2000\ Kgf.$
- b) Carga debido al peso propio de la estructura incluyendo los accesorios y elementos de izaje.- Esta carga se considera como Carga Muerta por ser una carga permanente, el valor se lo estima haciendo un cálculo preliminar que consiste en:

Peso de la estructura = 20% del peso total de la carga a llevar, es decir: Carga Muerta = Peso de la estructura y accesorios = 400 Kgf.

c) Carga total mayorada en función de:

1.- la aceleración del helicóptero durante el ascenso partiendo del reposo.

2.- de las normas para el diseño de elementos de izaje

### **3.3.1 CARGA TOTAL DE GANCHO DEL HELICOPTERO DURANTE SU ASCENSO $W_{h1}$**

La carga total que soporta el gancho del helicóptero incrementada por su aceleración durante el ascenso (literal c condición 1) se llamará  $W_{h1}$  es igual a las sumas de las fuerzas verticales generadas en los puntos de izaje cuando la estructura parte del reposo.

$$W_{h1} = 4 Fy \quad (\text{Ec.1})$$

Para determinar la fuerza vertical en cada punto de izaje se determina la aceleración con la que asciende el helicóptero y se realiza un diagrama de cuerpo libre (figura 8).

**Datos:**

- a)  $V =$  Velocidad de ascenso = 50 nudos = 25.72 m/s, (Ver sección 3.1 literal h).
- b)  $h =$  Altura = 207mt.

Las especificaciones técnicas de vuelos con helicópteros [Manuel de helipuertos, OACI] mostrada en la tabla 1.1 presenta las distancias de aceleración en función del cambio de altitud y temperatura. De allí determinamos la distancia  $h$

- c) Con la distancia  $h$  y la velocidad  $V$  se determina la aceleración con la que asciende el helicóptero:

$$a = \frac{V^2}{2h} = \frac{(25.72)^2}{2(207)} = 1.60 \text{ m/s}^2$$

- d) El peso total del conjunto  $W_T$  canasta está dada por el peso total de la estructura más el peso total de los accesorios más el peso de la carga a llevar:

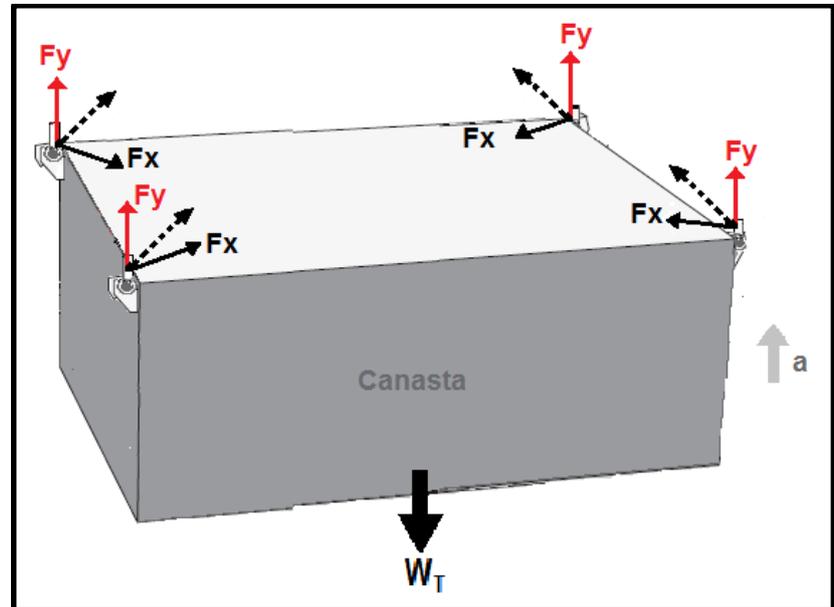
$$W_T = CM + CV = 2400 \text{Kgf}$$

$$W_T = \mathbf{23520 \text{ N}}$$

- e) La masa del conjunto es igual a:

$$m_T = \frac{W_T}{g} = \frac{23520 \text{ Kg m/s}^2}{9.8 \text{ m/s}^2} = 2400 \text{Kg. (1kgf=1kgm)}$$

Con los datos obtenidos y aplicando la segunda ley de Newton, se determina la fuerza  $F_y$ .



**Figura 8:** Diagrama de cuerpo libre de la Canasta

$$\overline{\Sigma F_y} \uparrow_+ = m_T \vec{a}$$

Reemplazando  $\rightarrow 4F_y - W_T = m_T \cdot a$

Despejando  $\rightarrow F_y = \frac{m_T \cdot a + W_T}{4}$

$$F_y = \frac{(2400 \text{ kg}) (1.60 \text{ m/s}^2) + 23520 \text{ N}}{4}$$

$$F_y = 6840 \text{ N} = 698 \text{ Kgf}$$

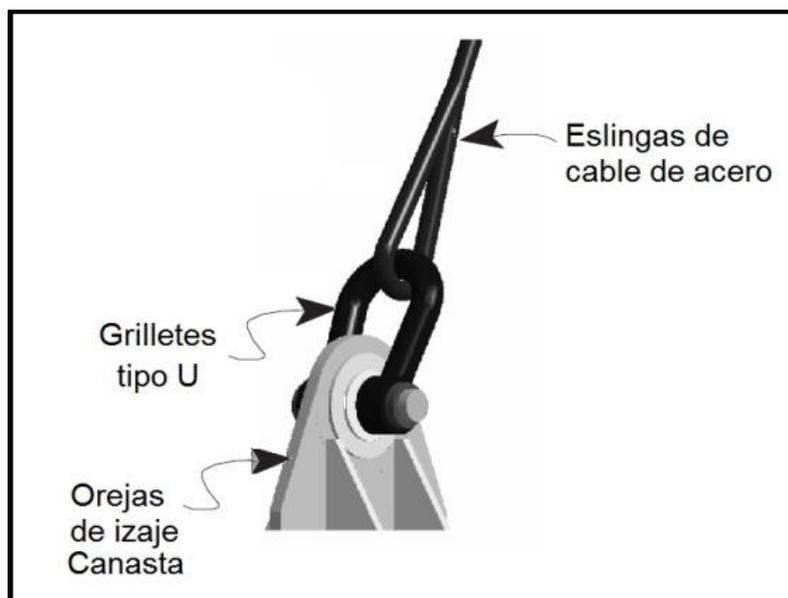
De acuerdo a la ecuación 1 se tiene que la carga total que soporta el gancho del helicóptero durante su ascenso será:

$$W_{h1} = 4 F_y \rightarrow W_{h1} = 2792 \text{ Kgf.}$$

### 3.4 DISEÑO Y SELECCIÓN DE PUNTOS DE ELEVACIÓN.

Las especificaciones para el diseño de puntos de elevación (figura 9) de cargas ligeras (<50Ton) se presentan en las normas BS (British Estándar), en los códigos BS 6166 parte 1, 2. Las tablas para selección de los factores correctivos indicadas en estas normas y algunas otras especificaciones de las normas AISC y API se resumen en el documento de ingeniería de la empresa Shell U.K. Exploration and Production , «Guidelines for Lifting Points and Heavy Lift Criteria el cual ha sido utilizado como guía en este proceso de diseño.

La carga total a la que estarán sujetos los puntos de izaje es debida a la carga muerta y viva combinadas con un factor de tolerancia o peso de seguridad y un factor de ampliación dinámica combinados en una carga llamada “Carga de gancho  $W_{h2}$ ”.



**Figura 9:** Esquema de un punto de Izaje

**a) Carga total a elevar**

Se establece el peso base  $W$  y la posición del centro de gravedad de la carga.

$W_c$  = Carga a elevar = carga viva

$W_E$  = Peso total estimado de la canasta y accesorios= carga muerta.

Carga total  $W_T = W_c + W_E$

$W_T = 2000\text{Kg} + 400\text{Kg}$

$W_T = 2400\text{ Kg}$

Véase sección 3.3 literales a, b y c

**b) Tolerancia de peso  $W_a$ , peso factorizado de la carga y Factor de ampliación dinámica  $F_h$  .**

La tolerancia del peso ( $W_a$ ) que se utiliza para calcular las cargas de diseño en los puntos de elevación, de acuerdo con las especificaciones de BS6166 es:

$W_a = 0.2 W_T \rightarrow W_a = 0.2 (2400\text{ Kg f})$

$W_a = 480\text{ Kg f}$

La suma  $W_T + W_a$  es el peso factorizado de la carga en condición de operación.

De acuerdo a las especificaciones, el factor de carga de choque (factor de ampliación dinámica), abarca una serie de

factores y se deben utilizar para el diseño de puntos de izaje. En la tabla 1 del Anexo C se muestran los valores de  $F_h$  para diferentes situaciones de elevación.

Se escoge un  $F_h=2$ , porque cubre la mayoría de situaciones de elevación. Este  $F_h$  está basado en la suposición de que la carga se levanta en un barco que trabaja en condiciones de diseño extremo, esto es en altura de olas de  $H=2.5\text{m}$  en un tiempo de  $T=6$  seg que es el estado en alta mar que limita las operaciones de embarcaciones de suministro junto a plataformas.

**c) Carga de gancho  $W_{h2}$**

$$W_{h2} = F_h (W_T + W_a) \quad (\text{Ecuación 7})$$

$$W_{h2} = 2(2400 + 480) \text{ Kg f} \rightarrow W_{h2} = 5760 \text{ Kg f} = 5.76 \text{ Ton f}$$

Esta es la carga total que soporta el gancho del helicóptero incrementada por factores de seguridad debido a las condiciones ambientales y a la naturaleza del ascenso considerando las normativas de izaje en alta mar BS 6166.

### **3.4.1 DISEÑO DE OREJAS DE IZAJE**

Para realizar el dimensionamiento de la oreja se determina inicialmente la carga vertical y la carga de diseño  $W_d$  que

llevará cada oreja de izaje, luego se determinan las dimensiones mínimas de las orejas de tal manera que no fallen por corte y aplastamiento.

#### **3.4.1.1 Carga por cada unidad de oreja de izaje $W_i$ .**

Para 4 puntos de izaje (sin vigas o barras estabilizadoras), el peso del gancho  $W_{h2}$  es distribuido para cada punto de elevación de manera no uniforme. Las especificaciones en la guía de izaje para paquetes de carga ligera que según BS6166 indican que se debe asumir que cualquier par de izaje llevará el 75 % de la carga vertical  $W_{h2}$ , esto es:

$$W_{pi} = 0.75 W_{h2}$$

donde  $W_{pi}$  es la carga vertical en un par de puntos de izaje obtenida mediante la ecuación 7.

$$W_{pi} = 0.75(5760) \text{Kg f}$$

$$W_{pi} = 4320 \text{Kg f}$$

Entonces, la carga vertical en un solo punto de izaje será:

$$W_i = W_{pi}/2 \rightarrow W_i = 4320 \text{Kgf} / 2$$

$$W_i = 2160 \text{Kg f}$$

$$W_i = 2.16 \text{Ton}$$

### 3.4.1.2 Carga de diseño $W_d$ en los puntos de izaje

La carga de diseño  $W_d$  se define como la carga en el punto de elevación más frecuentemente cargado.

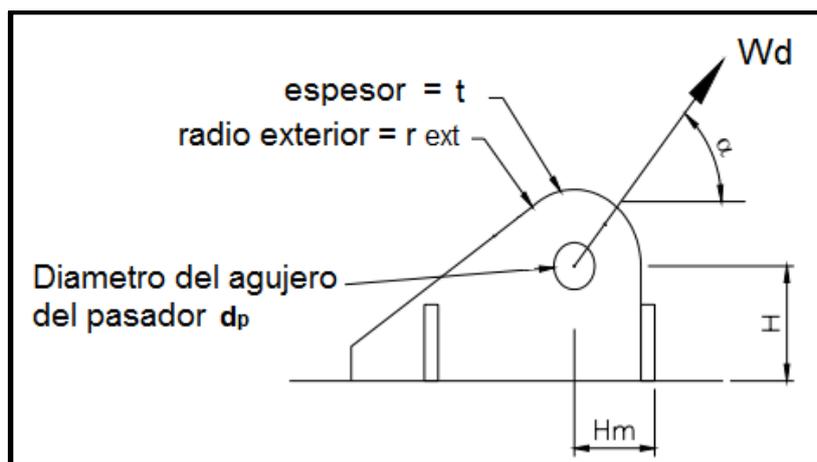
La carga  $W_i$  con dirección vertical se divide en sus componentes ortogonales para encontrar la fuerza aplicada en una oreja de izaje  $W_d$  (figura 9).

Se recomienda que el ángulo entre la eslinga y el plano horizontal se encuentre dentro de  $55^\circ \leq \alpha \leq 65^\circ$ , se elige el valor de  $60^\circ$  (figura 10).

$$W_d = \frac{W_i}{\text{sen}\alpha}$$

$$W_d = \frac{2160}{\text{sen}60}$$

$$\rightarrow W_d = 2494.15 \text{ Kgf}$$



**Figura10:** Esquema de Oreja de Izaje

### 3.4.1.3 Dimensionamiento de la oreja

La tabla 1 muestra los Esfuerzos de Diseño que se utilizarán como datos para este análisis.

**Tabla 1:** Esfuerzos de Diseño

Naturaleza del Esfuerzo Aplicado	Esfuerzo Permisible	Valor
Fluencia	$\sigma_y$	248.08 MPa
Tensión	$0.6 \sigma_y$	148.85 MPa
Cortante	$\tau_p = 0.4 \sigma_y$	99.23 MPa
Contacto/Aplastamiento	$\sigma_{cp} = 0.9 \sigma_y$	223.27 MPa

Datos:

$W_i = 2160$  Kgf,  $W_d = 24492.7$  N,  $d_p = 3/4'' = 19.05$

#### Espesor de la oreja t

El esfuerzo de contacto generado en la oreja debe ser  $\leq$  que el esfuerzo de contacto permisible del material.

$$\sigma_c \leq \sigma_{cp}$$

Se establece como condición mínima para el diseño

$$\sigma_c = \sigma_{cp}$$

$$\sigma_c = \frac{F}{A_c} ; A_c = \frac{d_p t_{\min}}{\sqrt{2}}$$

donde:

$d_p =$  diámetro del pasador

$t$  = espesor de la oreja

$$\text{reemplazando} \rightarrow \sigma_c = \frac{W_d \cdot \sqrt{2}}{dp \cdot t_{\min}}$$

$$\rightarrow t_{\min} = \frac{W_d \cdot \sqrt{2}}{dp \cdot \sigma_c} = \frac{24442.7 \text{ N} \cdot \sqrt{2}}{(0.19 \text{ m}) \left( 223.27 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)}$$

$$t_{\min} = 0.00815 \text{ m} = 8.2 \text{ mm}$$

Se escoge placa de 10 mm de espesor  $\rightarrow t = 10 \text{ mm}$

### Radio exterior de la oreja $r_{\text{ext}}$ .

El esfuerzo constante generado debe ser  $\leq$  que el esfuerzo cortante permisible del material

$$\tau \leq \tau_p$$

Se establece como condición mínima para el diseño

$$\tau = \tau_p$$

$$\tau = \frac{W_d}{A_\tau}$$

$$\text{reemplazando} \rightarrow \tau_p = \frac{W_d}{A_\tau}$$

$$\text{despejando} \rightarrow A_\tau = \frac{W_d}{\tau_p}$$

$$\rightarrow A_\tau = \frac{24442.7 \text{ N}}{99.23 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$A_{\tau} = 2.4632 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times \frac{1000}{1 \text{ m}^2} = 2.463 \text{ cm}^2$$

$$A_{\tau} = (r_{ext} - r_{int})t$$

$$r_{ext} = \frac{A_{\tau}}{t} + r_{int}$$

$$r_{int} = \frac{d_p}{2} + 2 \text{ mm}$$

$$r_{int} = 11.5 \text{ mm}$$

$$r_{ext} = \frac{2.4632 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{0.010 \text{ m}} + 0.0105 \text{ m}$$

$$r_{ext} = 0.0351 \text{ m}$$

$$r_{ext} = 35.1 \text{ mm}$$

Se colocará un  $r_{ext} = 40 \text{ mm}$

### 3.4.2 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE IZAJE.

#### 3.4.2.1 Selección de Eslingas.

Para la selección de eslingas se utilizó las normas ASME B.39, las cuales nos proveen de tablas con todas las clases de eslingas y el tipo de material del que están compuestas. Para nuestro caso, se seleccionó una eslinga con alma de acero con configuración de 16x19–9x36.

Las cargas dinámicas para la selección de eslingas están dada por:

$$CT = CN \times FS \text{ (Ecuación 8).}$$

Donde:

CT es la carga de trabajo

CN es la carga nominal

FS es factor seguridad de ampliación dinámica.

La carga nominal será la carga neta que lleva la canasta sin los factores de seguridad ya calculados, debido a que esta norma ya incluye estos factores.

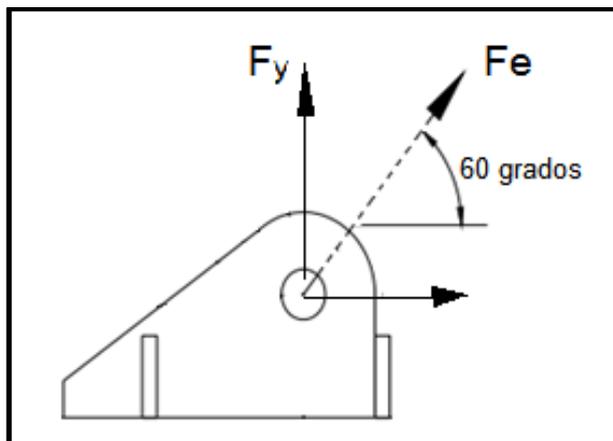
De la sección 3.3.1 tomamos el dato de  $F_y = 698 \text{ Kgf}$ , y con el ángulo de inclinación propuesto entre la eslinga y la horizontal de 60 grados calculamos la componente  $F$  que será la carga nominal de la eslinga (Figura 11).

$$F_e = \frac{F_y}{\text{sen}\alpha}$$

$$F_e = \frac{698 \text{ Kgf}}{\text{sen}60}$$

$$\rightarrow F_e = 806 \text{ Kgf}$$

La Fuerza  $F_e$  será la carga nominal CN aplicada a la eslinga



**Figura 11:** Fuerza de la eslinga  $F_e$

En las especificaciones de la norma ASME B 30.9 se indica que el factor de seguridad FS a usar debe ser igual a 5.

Reemplazando estos valores en la ecuación 8 se tiene:

$$CT = (806)(5) = 4030 \text{ Kgf}$$

Se escoge un modelo de eslinga de:

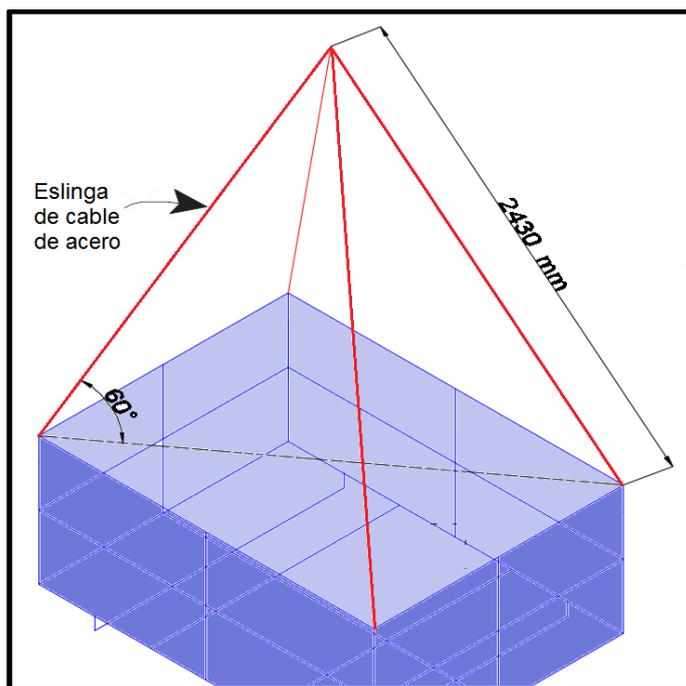
- HT-EIPS – JWRC 6×19 - 6×36- Extra Improved Plow Steel, Grade independent Wire rope Core.

Con el número de izajes de 4 puntos se ingresa a la tabla 10 de la norma ASME B 30.9 (Ver anexo D).

→ CT de 4025 Kgf → diámetro 7/16 pulg..

La longitud de la eslinga estará determinada por la geometría de la canasta y el ángulo de inclinación de 60 grados (figura 12).

Las especificaciones indican que la longitud mínima para este tipo de eslingas debe ser por lo menos 40 veces el diámetro del pin de la oreja (Ver figura 4 en anexo D), por lo que al comparar observamos que si cumple.



**Figura 12:** Longitud de la eslinga

### Consideraciones para uso de eslingas

- Antes de su uso, se debe realizar una inspección inicial del estado de las eslingas según lo indique la norma ASME B30.9 sección 9-2.9.1, Ver Anexo C
- Se debe realizar una inspección visual por daños cada día o turno donde se utiliza la eslinga según lo indique la norma ASME B30.9 sección 9-2.9.2. Ver Anexo C.

- Las precauciones a las que deben acogerse el personal que opera la eslingas deben ser las indicadas en la norma ASME B30.9 sección 9-2.10.2. Ver Anexo C.

### 3.4.2.2 Selección de Argollas y Grilletes

#### Grilletes

Para la selección de los grilletes se utilizó las normas ASME B.30.26, las cuales nos indica que la Carga de trabajo del grillete será multiplicada por un factor de seguridad de 6, es decir:

$$CT = CN \times FS$$

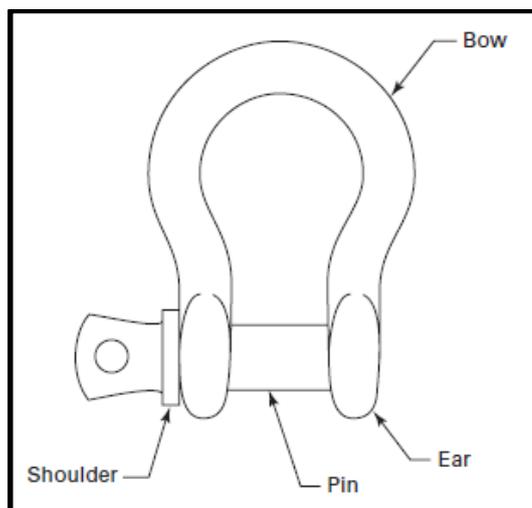
Donde CN es la carga calculada Fe mostrada en la figura 11.

Reemplazando los valores en tenemos:

$$CT = 806(6) = 4836 \text{ Kg}$$

Se selecciona un grillete de aleación templado y revenido con perno roscado para carga segura de trabajo de 5 Ton con las siguientes especificaciones (Figura 13):

- Diámetro del cuerpo= 5/8"
- Diámetro del pasador= 19.05 mm
- Ancho= 26.92 mm



**Figura 13:** Esquema de Grillete

### Argollas

Las argollas son los elementos que conectarán a las eslingas con el gancho del helicóptero (figura 3).

Por prevenir algún accidente en campo por el uso de argollas equivocadas respecto a su capacidad de carga, se seleccionará el espesor mínimo requerido para aguantar la carga total mayorada como si el sistema usara una sola argolla. Para esto consideramos la carga total del gancho  $W_h = 5760\text{Kg}$ .

Con este valor vamos a la tabla de proveedores locales y seleccionamos la argolla adecuada y su espesor mínimo:

Argolla de aleación A – 341 o 342

$\varphi 3/4'' \rightarrow \text{carga} = 6.82 \text{ Ton f}$

### **3.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LA CANASTA**

#### **3.5.1 MODELO DE ELEMENTOS FINITOS. IDEALIZACIÓN, DEFINICIÓN Y DISCRETIZACIÓN DEL MODELO.**

Las paredes y piso de la canasta se diseñaran por elementos finitos, así también como el recubrimiento del piso que es una plancha. El código usado para el diseño será el de la AISC método LRFD.

Consiste en la simplificación del sistema real en un modelo simplificado en el que se mantenga principalmente la geometría y las dimensiones. En este punto se eligen los elementos a utilizar en el modelo; para el caso de éste estudio, se utilizarán elementos lineales (frame) para las vigas, columnas y elementos rigidizadores; la plancha metálica del piso se modelará mediante elementos tipo área de dos dimensiones (shell), con cuatro nodos o cuadriláteros. Para la realización de este modelo, debido a la disponibilidad de herramientas se ha usado AutoCAD, el mismo que permite mantener las dimensiones y generar archivos compatibles con otras aplicaciones. Los elementos son dibujados tomando al eje centroidal como referencia y posteriormente es incorporado en el software de análisis estructural

SAP2000. Luego de tener el modelo incorporado se realiza la discretización para el elemento Shell para encontrar la tendencia de valores constantes. Esa tendencia nos dará el número de particiones que se usará para el diseño.

### **Discretización**

Para analizar la convergencia es necesario conocer previamente el valor teórico con el cual se pueda comparar los resultados experimentales; en ciertos estudios se utiliza como valor fijo o ideal, la solución obtenida por métodos analíticos y luego realizar las comparaciones con los resultados obtenidos numéricamente por cada proceso de discretización. Sin embargo, en la mayoría de los casos de análisis es poco probable que se conozca la solución exacta o analítica a priori por lo que en estos caso el enfoque a utilizar es el basado en la comparación de dos soluciones sucesivas de mallas refinadas de un total de tres, las cuales se clasifican como: gruesa (G), mediana (M), y fina (F).

Una vez que se han obtenido los valores de una variable determinada y para el caso de los esfuerzos, la convergencia se garantiza si es que se cumple la siguiente condición:

$$|\sigma_M - \sigma_G| > |\sigma_F - \sigma_M| \quad \frac{|\sigma_F - \sigma_M|}{|\sigma_F|} < e_s$$

donde  $e_s$  es el nivel de error relativo permitido, cuyos valores utilizados son:

- < 1%                      Excelente.
- 5%                              Bueno
- 10%                            Satisfactorio

Para el presente estudio, estos parámetros se cumplen por lo que se asegura la convergencia tanto de los esfuerzos como de los desplazamientos. Los resultados obtenidos se muestran en las tabla 2 y en la tabla 3.

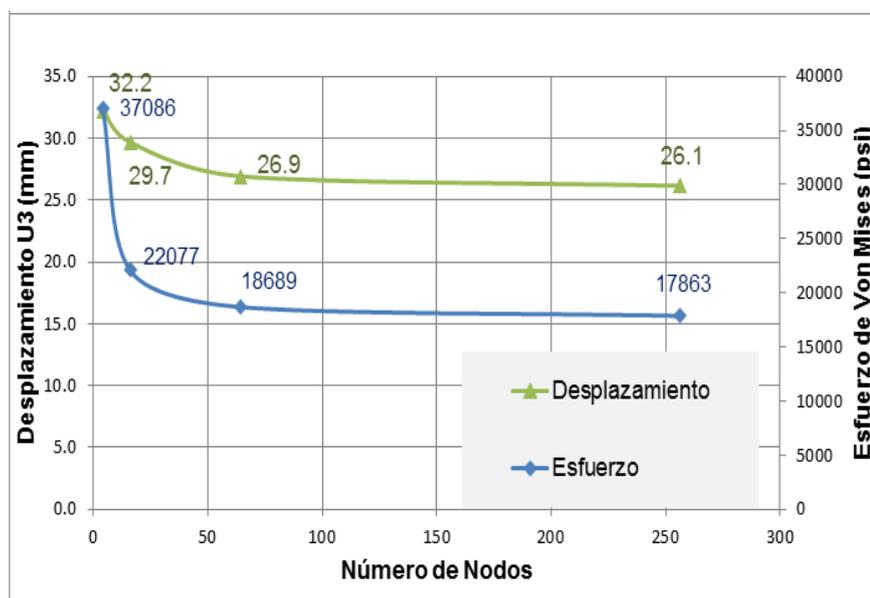
**Tabla 2:** Convergencia de los Esfuerzos (discretización)

Núm. de Elem (N)	Tipo de Malla	Tamaño de Elemento (mm)	Esfuerzo VM (psi)	Error Abs	Error Relativo
4		540	37086		
16	G	360	22077	15009.0	68.0%
64	M	180	18689	3388.0	18.1%
256	F	90	17863	826.0	4.6%

**Tabla 3:** Convergencia de los Desplazamientos (discretización)

Núm. de Elem (N)	Tipo de Malla	Tamaño de Elemento (mm)	Despl. (mm)	Error Abs.	Error Relativo
4		540	32.2		
16	G	360	29.7	2.5	8.4%
64	M	180	26.9	2.8	10.2%
256	F	90	26.1	0.8	3.0%

Para completar el análisis se procedió a realizar las gráficas de los Esfuerzos y Desplazamientos en función del número de elementos utilizados, para lo cual se escogió el nodo 6, que se ubica en el centro de la plancha (Figura14).



**Figura 14:** Esfuerzos y Desplazamientos en función del número de elementos (discretización).

De la figura 14 se observa claramente que tanto los Esfuerzos como los Desplazamientos convergen asintóticamente hacia un valor definido. En el caso del desplazamiento la convergencia se da en 26 milímetros mientras que el Esfuerzo de Von Mises converge hacia 17000 psi. La variación sucesiva de los valores en función de la discretización se presenta en las figura 15.

A partir de este análisis para el modelo final de la canasta se escogió 90 mm como tamaño óptimo de elemento para la discretización y los resultados obtenidos para los esfuerzos se observan en la figura 16, en donde se detecta una concentración de esfuerzos debido a la junta que existe entre la plancha, la viga del piso y la columna que se encuentra cercana al punto de izaje. La distribución de esfuerzos a lo largo del eje y se muestra en la figura 17.

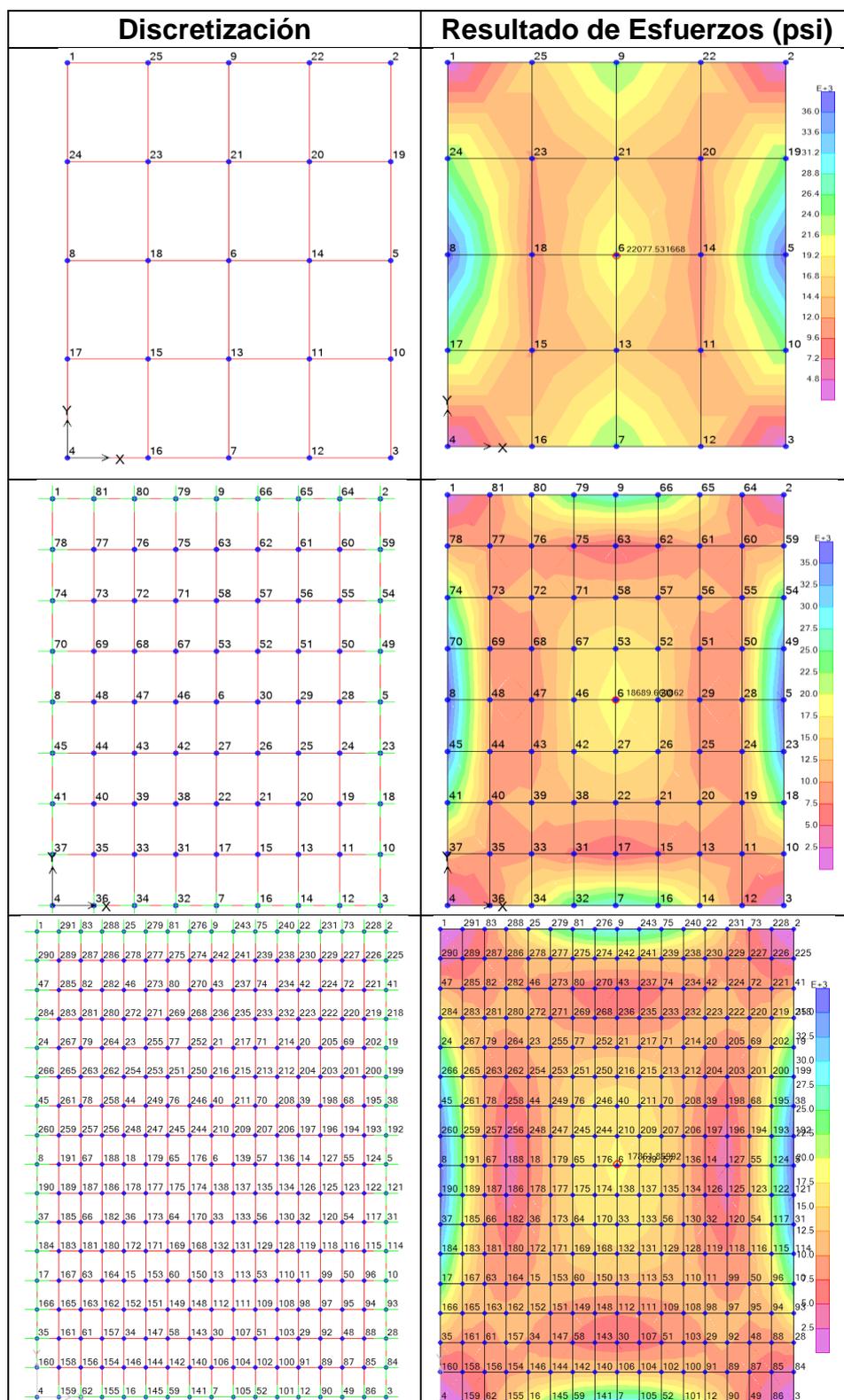


Figura 15.- Variación de los valores de esfuerzos - discretización

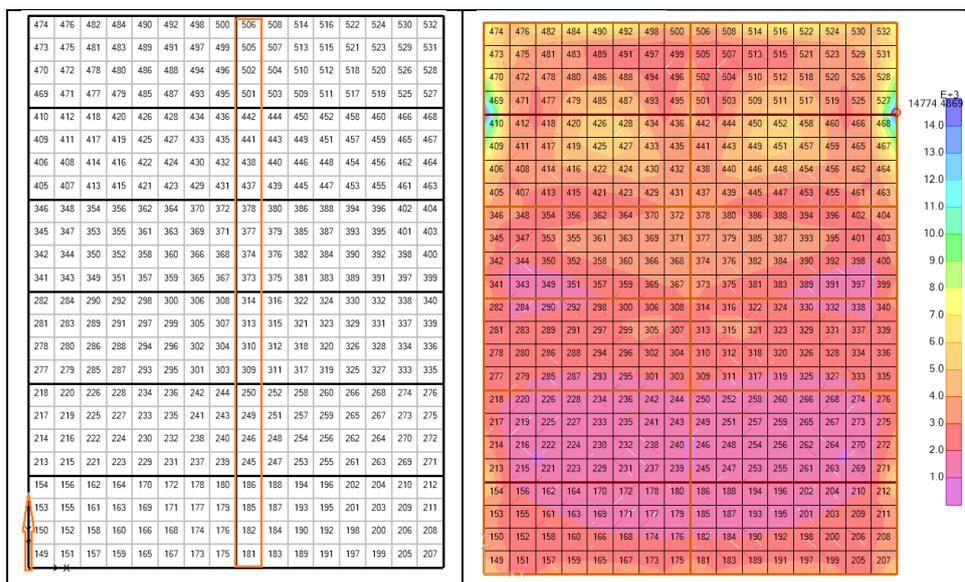


Figura 16.- Distribución de esfuerzos a lo largo del eje y

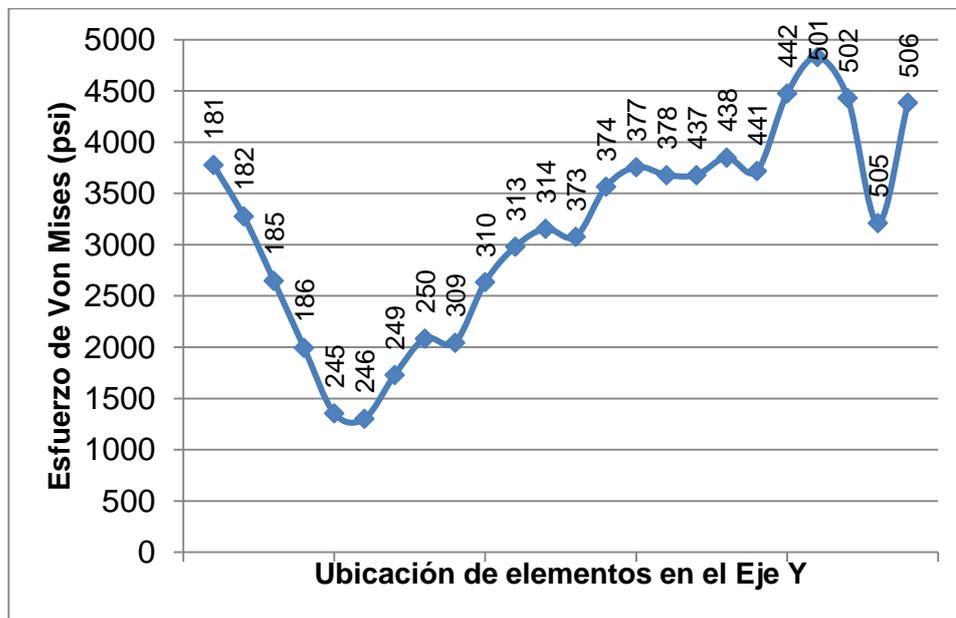


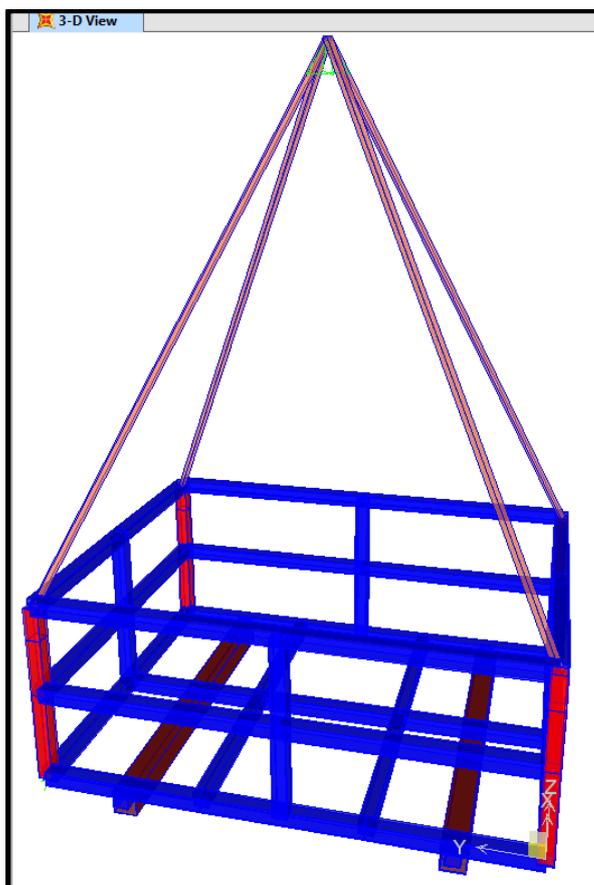
Figura 17.- Distribución de esfuerzos a lo largo del eje y seleccionado en la figura 16

### **3.5.2 CONDICIONES DE FRONTERA, MATERIALES, TIPO DE SECCIONES.**

Una vez que se ha definido el modelo geométrico se procede a asignar las propiedades de los elementos, las fuerzas aplicadas y las condiciones de frontera para ejecutar el modelo matemático.

En las esquinas superiores de la estructura se ubican los puntos de sujeción para su izaje; en aquellos puntos serán ubicados las eslingas de alma de acero, estas convergerán en un solo punto que representa el gancho del helicóptero, en este punto se colocará la restricción en el modelo. Para este caso se considera un apoyo cuyo desplazamiento esté restringido en las tres direcciones, no así los momentos.

El material que se asignará a la estructura corresponde al acero ASTM A36 cuyo límite de fluencia es igual a 36000 psi, el grupo de secciones que participarán en el diseño se enunciaron en la sección 3.2. Las demás propiedades de los materiales se agregan al software automáticamente una vez ingresados los datos ya indicados (Figura 18).



**Figura 18.-** Modelo de la Canasta en elementos finitos

### 3.5.3 DEFINICIÓN Y ASIGNACION DE LAS CARGAS AL MODELO.

#### Cargas

Los tipos de cargas a aplicar a la estructura son:

- DL: Carga Viva: Peso de los equipos = 2000 kg. Definida en sección 3.3 literal a)
- LL: Carga Muerta: Peso de la estructura más accesorios = 400Kgf. Definida en sección 3.3 literal b)

- WL: Fuerzas de viento.- Las presiones externas e internas aplicadas a las diferentes paredes de la estructura son ocasionadas por las fuerzas del viento, estas fuerzas ya son consideradas por el factor de ampliación dinámica utilizado para el cálculo de la carga total del gancho  $W_{h2}$

Si comparamos los resultados de la carga total de gancho calculada en la sección 3.3.1 (Carga total de gancho del helicóptero durante su ascenso  $W_{h1} = 2792\text{Kgf}$  ) y la sección 3.4 (Carga total de gancho del helicóptero tomando en cuenta los efectos ocasionados por las condiciones climáticas en alturas  $W_{h2}=5760\text{Kgf}$  ), podemos observar que la carga  $W_{h2}$  es mucho mayor, por lo que deducimos que la norma aplicada para este caso es más conservadora. La norma BS 6166 para elementos de izaje de cargas ligeras que se usó para calcular  $W_{h2}$  utiliza factores de seguridad que han sido calculados bajo condiciones operativas extremas en alta mar y estas condiciones tienen mucha similitud a las condiciones a la que estará expuesta la canasta helitransportable, por tal razón se seleccionará la carga de gancho  $W_{h2}$  calculada en el diseño de orejas de izaje para utilizarla como la carga global factorada que se aplicará a la estructura de la canasta.

### **Combinaciones de Carga**

El Código AISC- LRFD99 [4] establece que si una estructura está sometida a carga muerta (DL) se debe utilizar  $COMB1=1.4 DL$ ; y si una estructura está sometida a carga muerta (DL) y carga viva (LL) se debe utilizar  $COMB2=1.2 DL+1.6LL$ . Las demás combinaciones que incluyen la carga de viento (WL) son:

$$0.9 DL \pm 1.6 WL$$

$$1.2 DL \pm 0.8 WL$$

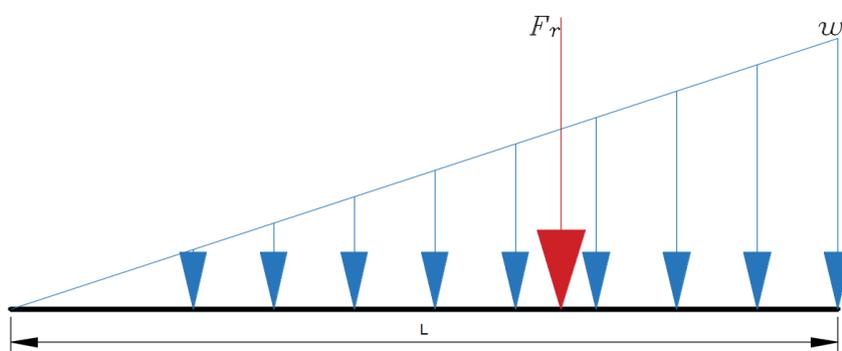
$$1.2 DL + 1.0 LL \pm 1.6 W$$

Para nuestro caso, no se aplicará la carga de viento, sino la carga mayorada  $Wh_2$  como una carga viva que incluye todos los factores de diseño en alturas.

### **Asignación de las cargas**

Según la norma para el diseño de puntos de elevación BS6166, la distribución de cargas en un par de eslingas es el equivalente al 75% de la carga mayorada a elevar (ver sección 3.4.1.1). Tomando en cuenta esto, la carga mayorada de 5760 kgf será asignada a la plancha o piso de la canasta, pero para efectos de simulación de la deformación de los elementos estructurales (vigas y columnas) se escoge una distribución

de cargas de presión sobre unidad de área de manera que aproxime a este comportamiento, es decir que el 75% de la carga esté concentrada cerca del extremo de la estructura. De las distribuciones conocidas, la más cercana que simula este comportamiento es el de una carga de presión linealmente distribuida (Figura 19).



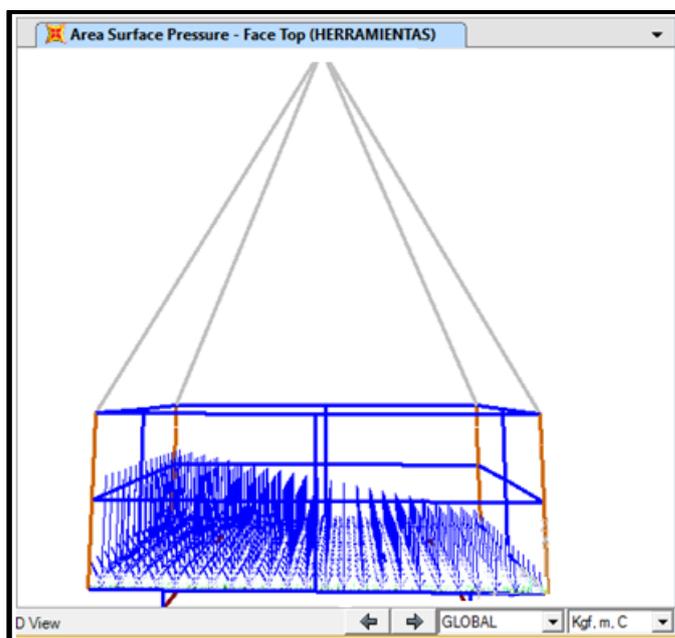
**Figura 19:** Representación de la distribución de la carga viva

El valor de  $w_l$  ha sido calculado en función de las dimensiones del piso, esto es, ancho  $b = 1.5 \text{ m}$ . y longitud  $L = 1.95 \text{ m}$ . por lo que el valor obtenido es el siguiente:

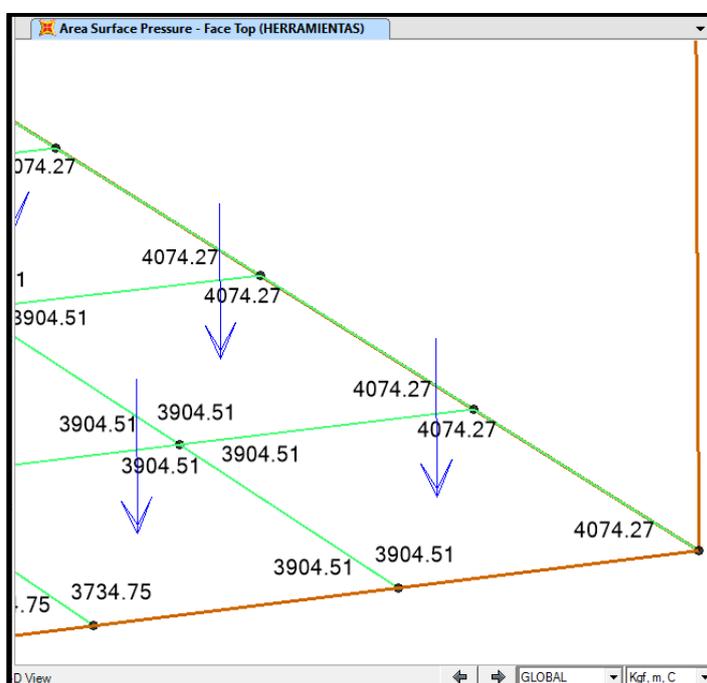
$$F_r = \frac{w_l * L}{2} = \frac{p * b * L}{2} = 5760 \text{ kgf.}$$

$$\xrightarrow{\text{entonces}} p = 4074.27 \text{ kgf/m}^2$$

Este valor es ingresado en el modelo como la carga por unidad de área en la plancha en la parte inferior, como se muestra en la figura 20 y figura 21.



**Figura 20:** Distribución de la carga viva asignada al piso de la estructura



**Figura 21:** Zoom en un extremo de la carga viva asignada al piso de la estructura

# CAPÍTULO 4

## 4 RESULTADOS.

El diseño ha comprendido análisis realizados en forma analítica tomando en consideración las normas, y análisis por medio de las herramientas de diseño por elementos finitos.

Para la estructura diseñada en elementos finitos, se han obtenido los valores de los coeficientes de Esfuerzo/Resistencia en perfiles y los valores de esfuerzos combinados en placa de piso y sus deformaciones, dichos resultados se muestran a continuación

### 4.5 RESULTADOS DEL MODELO INICIAL

De la estructura diseñada, en la primera ejecución se obtuvo valores superiores a 1 en los coeficientes de Esfuerzo/Resistencia en los elementos de piso, esto se debió a que la separación entre ellos era la tercera parte de su longitud, y como la carga es variable, tuvo mayor incidencia cerca de un extremo; esto se solucionó colocando otro elemento en el piso en la parte central y aumentando la sección (espesor) en los perfiles verticales esquineros. El segundo aspecto fue la deformación grande de la plancha de piso, esto se solucionó aumentando el espesor inicialmente propuesto.



#### 4.6 RESULTADOS DEL MODELO MODIFICADO PARA ELEMENTOS LINEALES.

Una vez que se incorporaron los cambios en el modelo mencionados en la sección 4.1, se ha ejecutado el análisis y diseño, obteniéndose una mejora considerable en los coeficientes de diseño, y en las deformaciones de piso.

Los resultados del análisis del modelo definitivo para los elementos lineales se presentan en la figura 23.

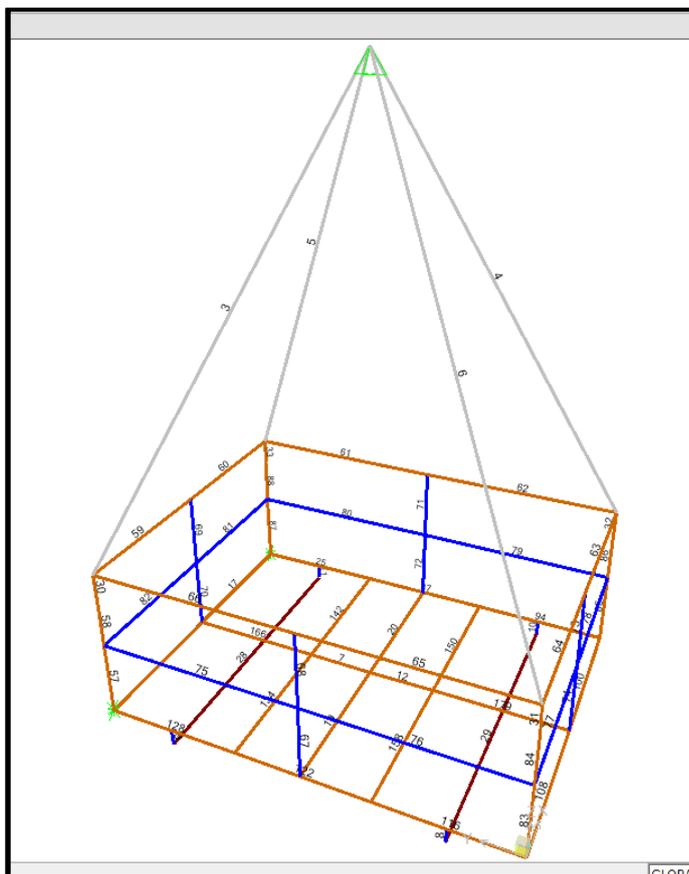
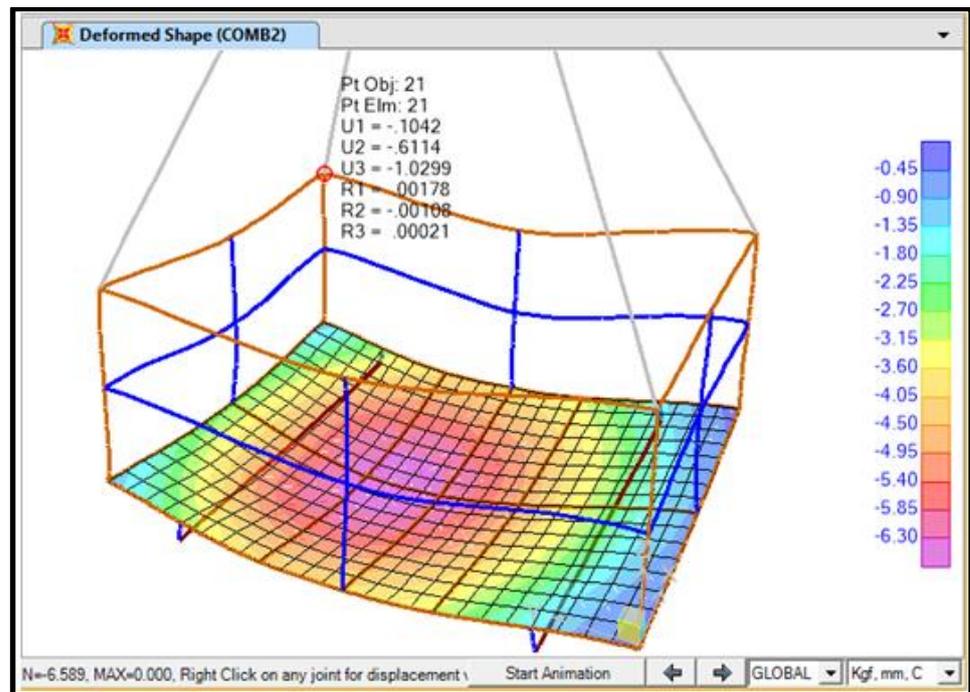
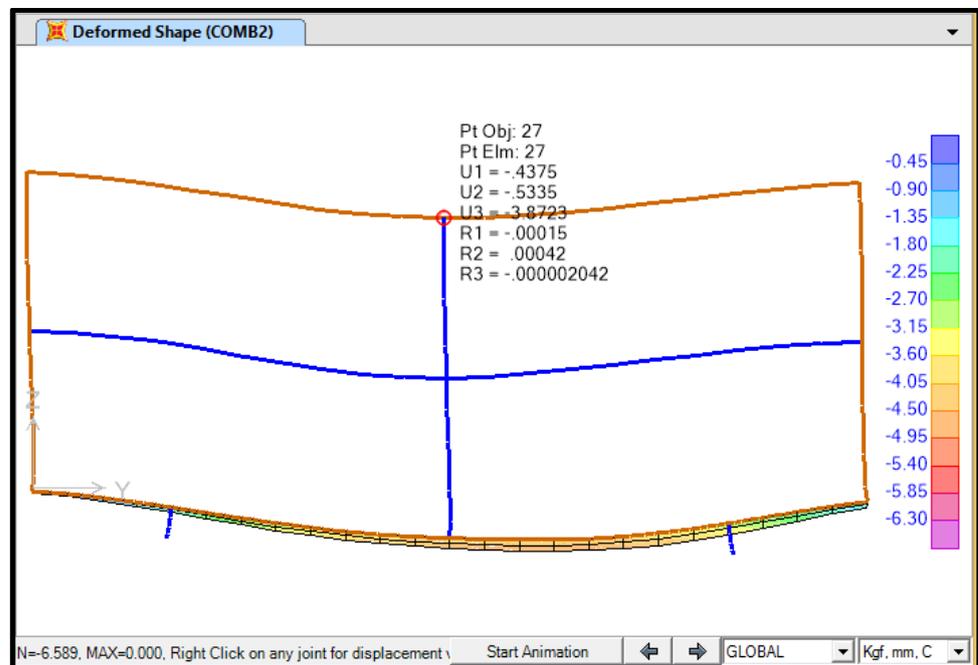


Figura 23: Modelo Modificado

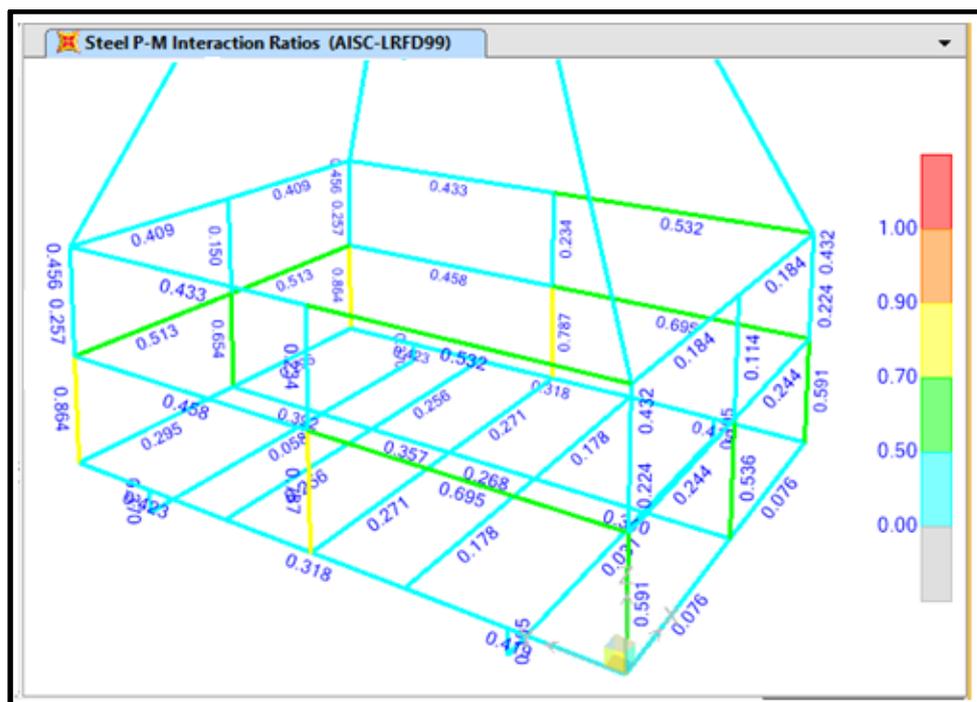


**Figura 24:** Deformación en elementos lineales de la estructura



**Figura 25:** Deformación máxima en elemento lineal de la estructura

Los mayores esfuerzos de los elementos lineales de la estructura se presentan en los perfiles verticales esquineros en la parte inferior, factores de seguridad de 0.59 y 0.86, estos factores son el resultado de la relación de Esfuerzo/Resistencia (Figura 26).

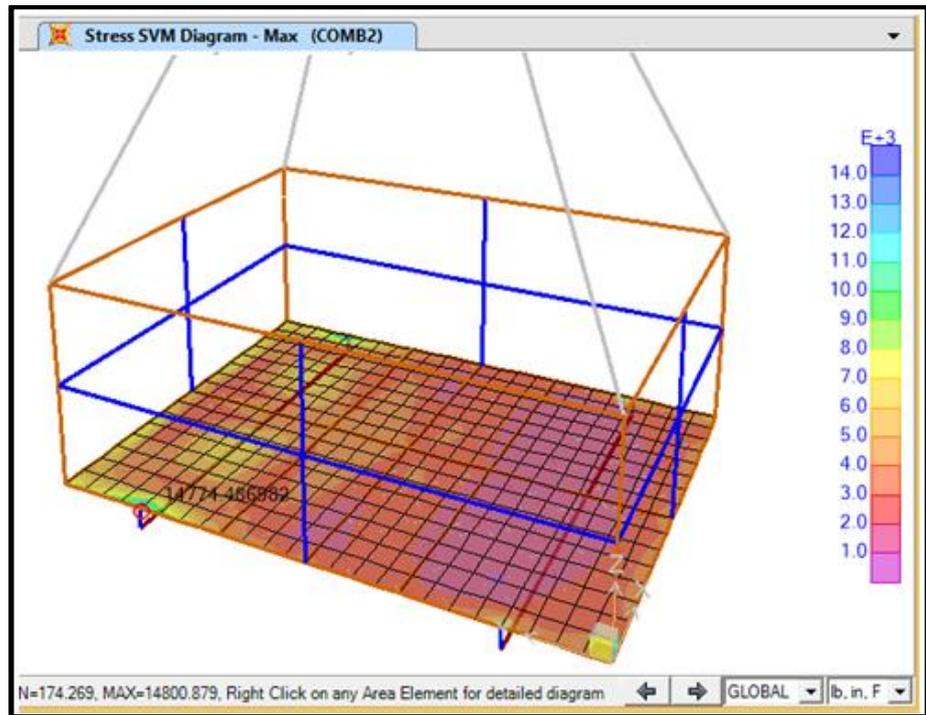


**Figura 26:** Coeficientes de relación de esfuerzos

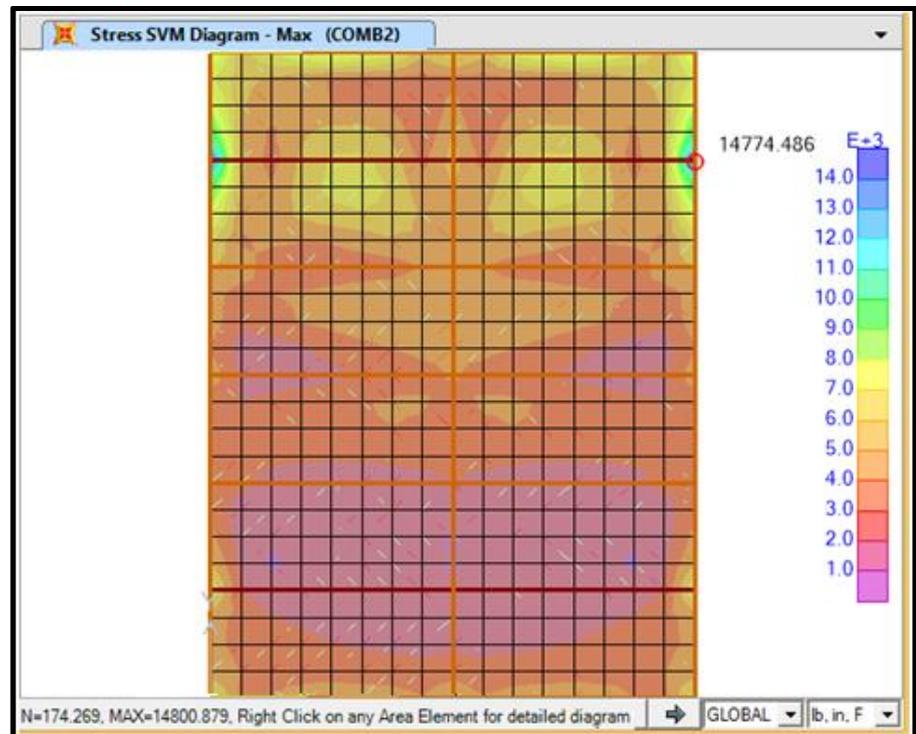
#### 4.7 RESULTADOS DE LOS ELEMENTOS TIPO ÁREA.

Una vez que se incorporaron los cambios en el modelo relacionados a la elemento shell mencionados en la sección 4.1, se ha ejecutado el análisis y diseño, obteniéndose una mejora considerable la concentración de esfuerzos y en las deformaciones.

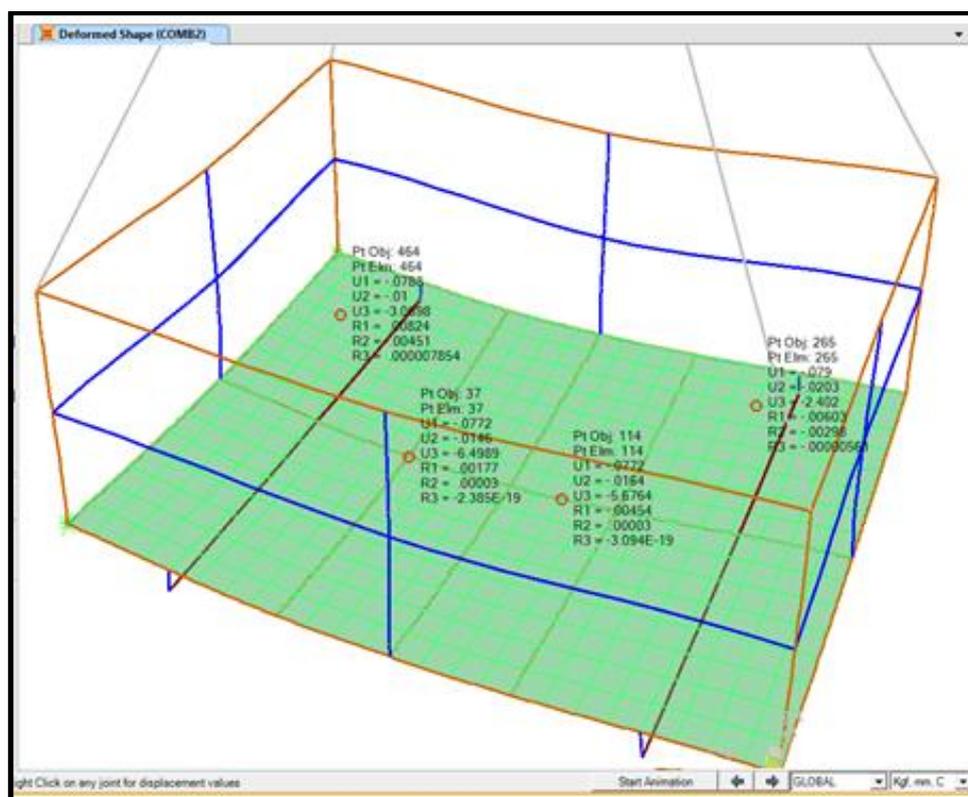
Los resultados del análisis del modelo definitivo para el elemento shell se presentan a continuación:



**Figura 27:** Esfuerzos de Von Mises en vista de perspectiva



**Figura 28:** Esfuerzos de Von Mises en vista de proyección



**Figura 29:** Deformaciones en piso, unidades en mm.

Los valores U1, U2 y U3; representan la dirección en el eje de las **x**, **y**, y **z**; por lo que, los desplazamientos verticales son los valores mostrados bajo la denominación **U3**.

La figura 29 muestra como valor mínimo de deformación 0mm, y valor máximo de deformación 6.5 mm que se ubica en la parte central derecha, este valor no excede el valor máximo permisible dispuesto por las norma AISC-LRFD en las tablas de desplazamientos máximos permisibles en elementos estructurales.

#### 4.4 MATERIALES DEFINITIVOS RESULTANTES DEL DISEÑO

Luego de realizar el diseño definitivo de la Estructura Metálica mediante Elementos Finitos se obtuvieron los siguientes materiales para los elementos lineales:

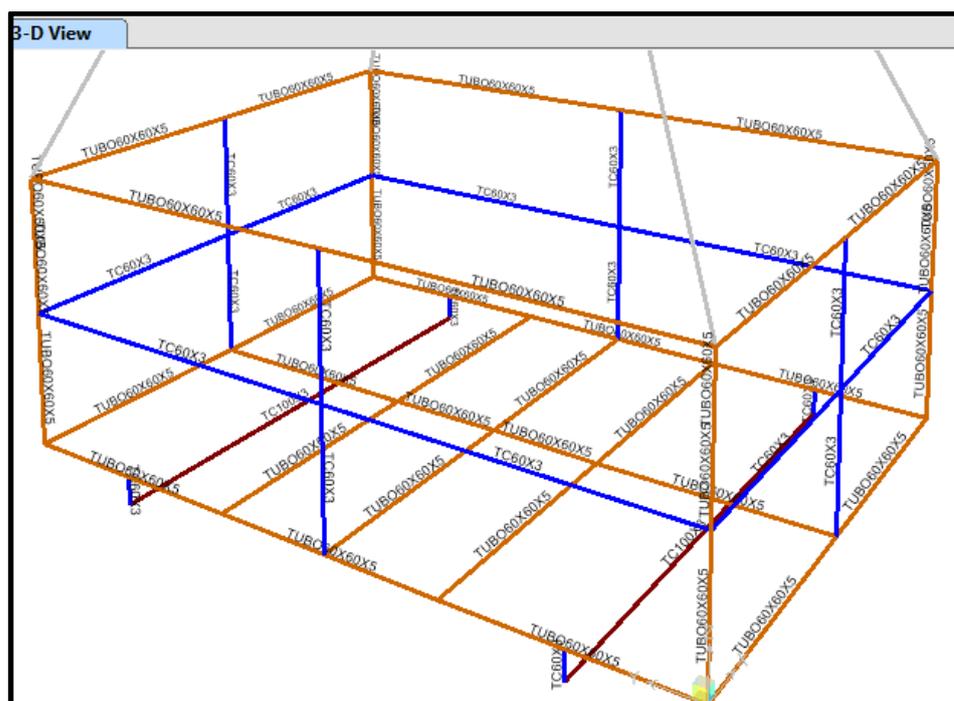


Figura 30: Secciones diseñadas para los elementos lineales.

Tabla 4: Lista de Materiales Definitivo - (Por tipo de sección)

Sección	Elemento	Unidades	Longitud (mm)	Peso Total
TC 60X5mm	Frame	12	3000	25.9
TC 60X3mm	Frame	45	28554.8	153.3
TC 100X3mm	Frame	2	2900	26.5
Plancha	Area			133.16
<b>Peso total</b>				<b>= 338.86Kg</b>

- La plancha de piso será de 6mm de material corrugado de acuerdo a lo especificado en la sección inicial.
- De acuerdo al diseño realizado a las orejas de izaje se definieron las siguientes medidas: espesor de la oreja 10mm, diámetro mayor 80mm y diámetro menor 22mm ( Plano 3).

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

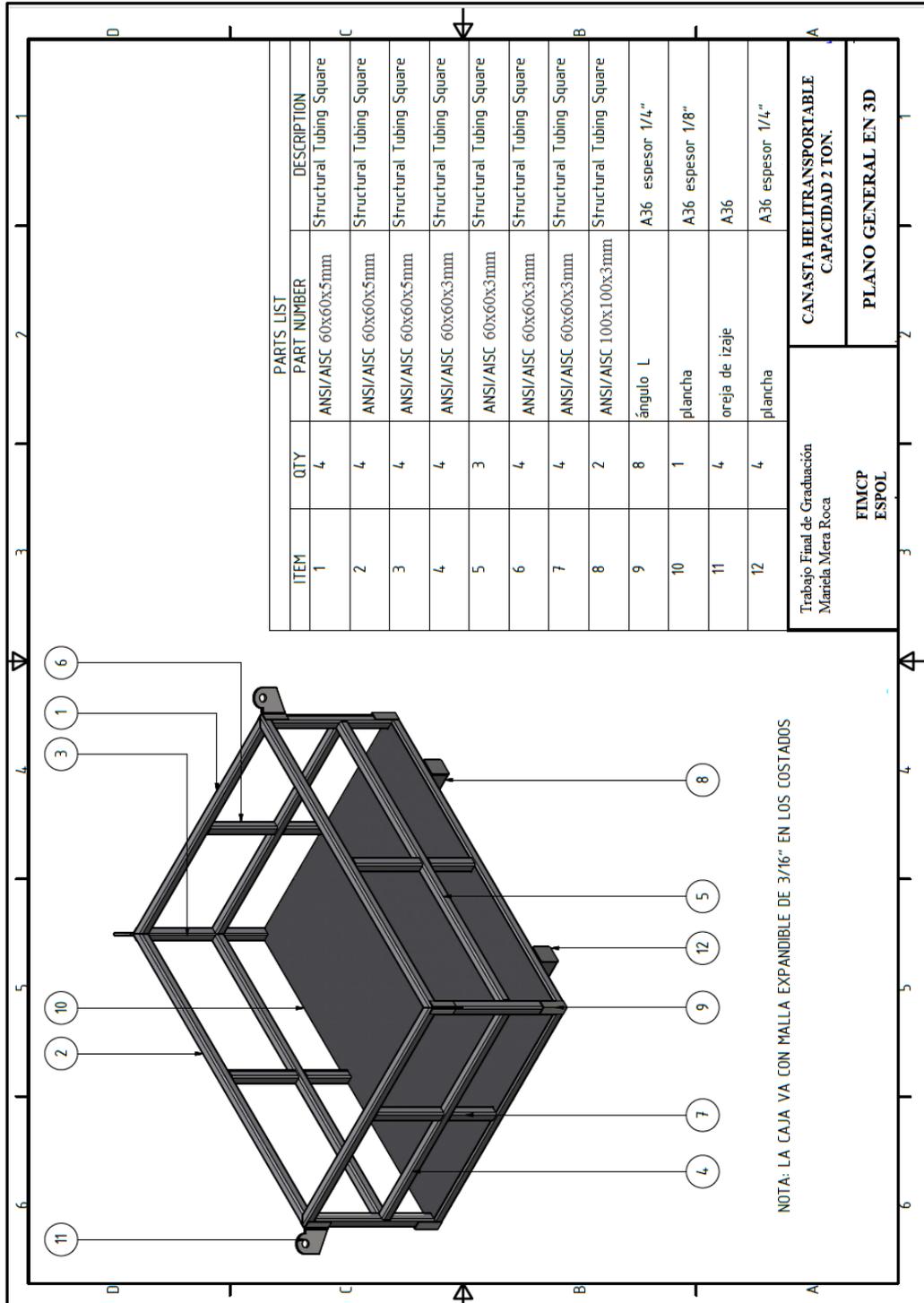
1. Los valores de Esfuerzo/Resistencia para una estructura estable deben estar por debajo de la unidad; así se tiene que valores cercanos a la unidad es para estructuras que se encuentran al límite de su capacidad de carga y valores cercanos a cero es para estructuras que disponen de una alta capacidad de carga. Como todos los valores presentados son menores a 1 y no cercanos a 1, se concluye que la estructura tendrá un comportamiento estable sometido a los esfuerzos.
2. Al observar los valores de deformación vertical de toda la estructura, se concluye que las deformaciones se encuentran dentro de lo permitido.
3. El valor máximo de esfuerzo presentado en la placa de piso es menor al límite de fluencia del material, por lo que se concluye que dicho valor se encuentra dentro de lo permitido.
4. La selección del diámetro del pasador de sujeción de la oreja incide significativamente en la presencia del esfuerzo de contacto, por lo que

el diámetro del mismo no debe ser menor al indicado en estos cálculos ya que eso aumentaría la presencia de esfuerzos, requiriendo un aumento del espesor de la oreja para su correcto funcionamiento.

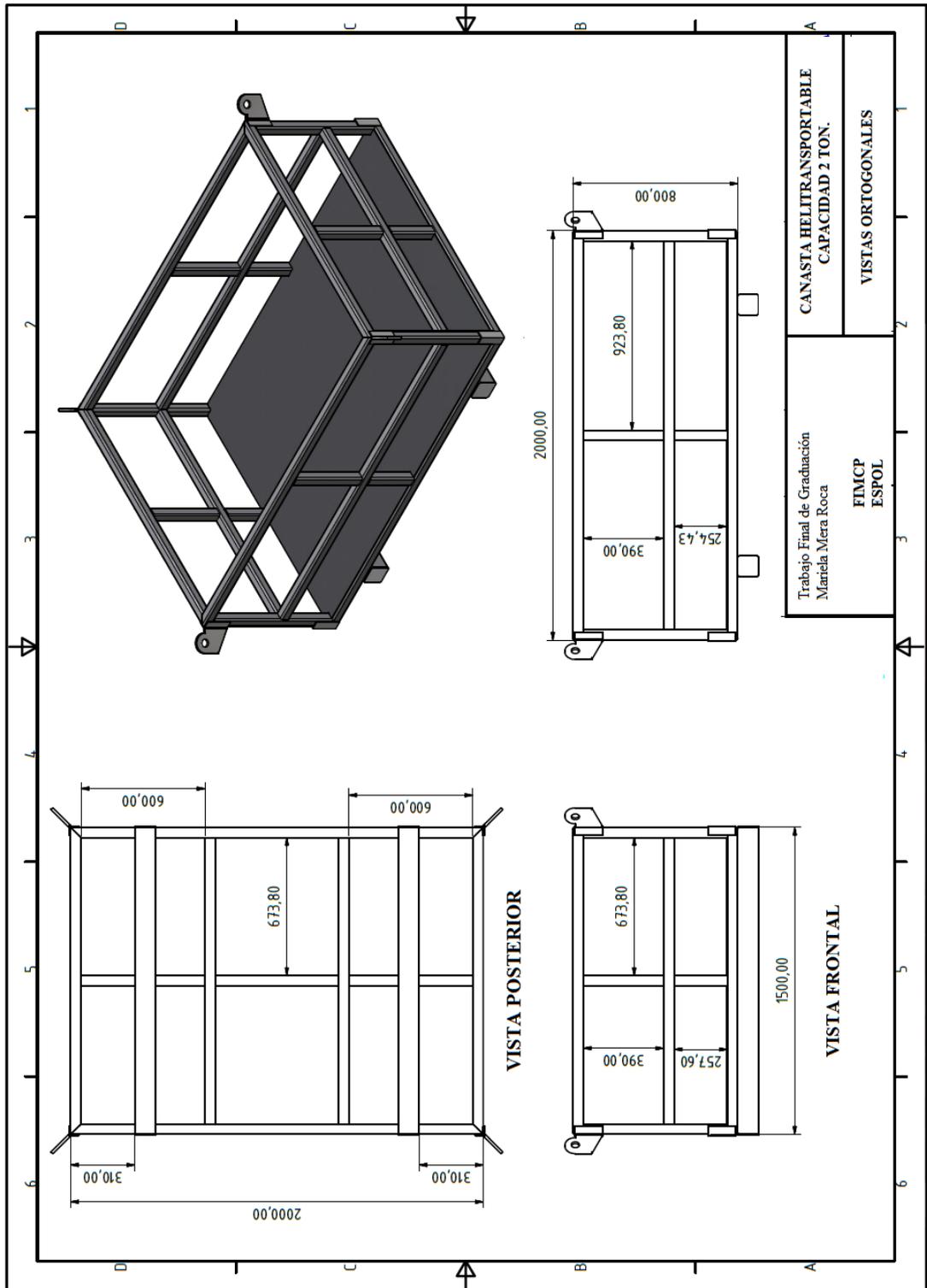
5. Como resultado del trabajo se consiguió un diseño que no falla en condiciones normales durante el transporte de la carga, el cual cumple con las normativas.
  
6. SAP2000 asume que las uniones están bien diseñadas. La verificación de las mismas se encuentra fuera del alcance de este trabajo, así como la estimación de la soldadura.

# APENDICE

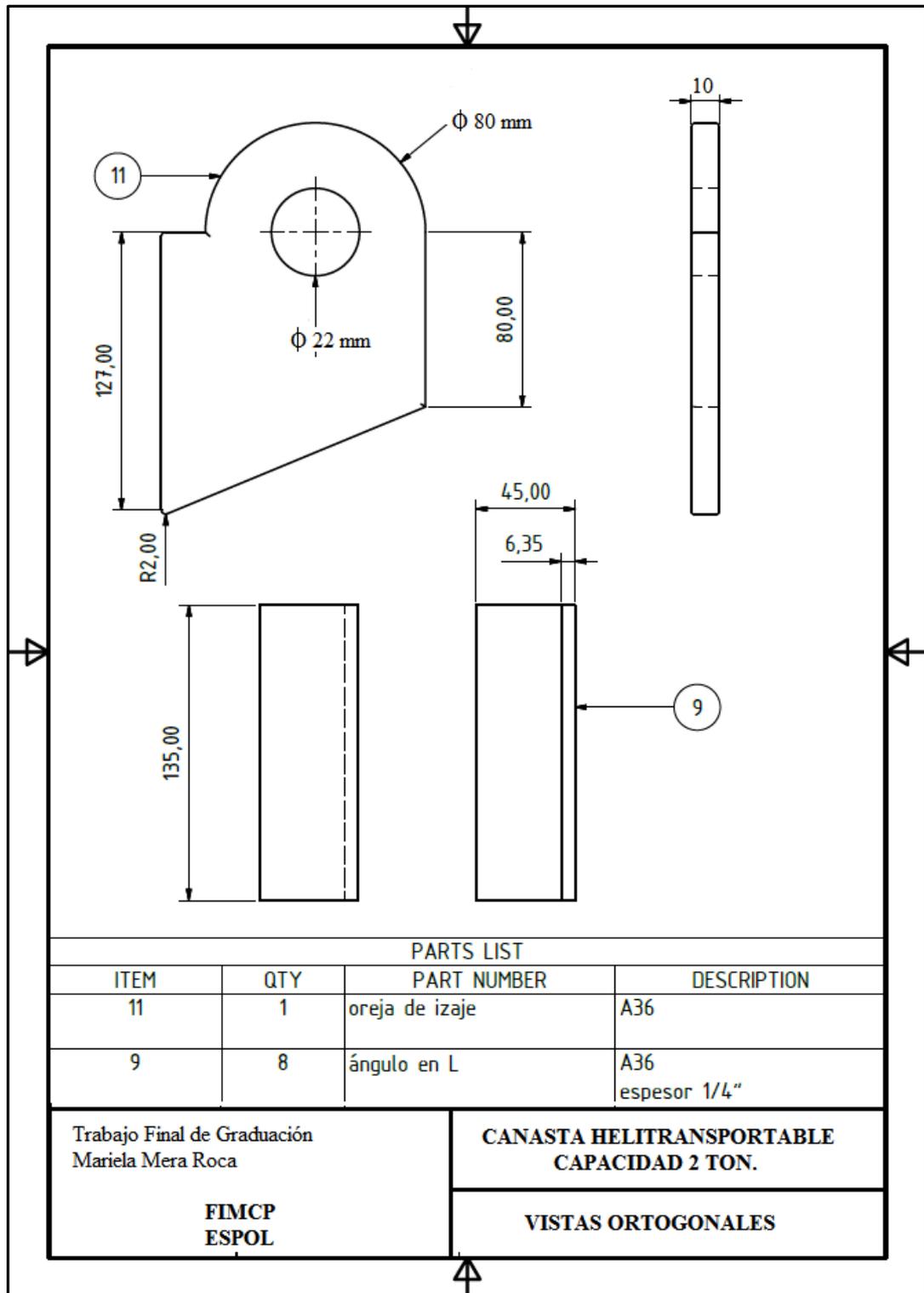
Plano1: Plano general de la Canasta Helitransportable en 3D



**Plano2: Vistas Ortogonales de la Canasta Helitransportable**



**Plano3:** Plano de Oreja de Izaje y soporte



## ANEXO A

Tablas para Diseño de Puntos de Izaje, Especificaciones técnicas de los códigos BS 6166 parte 1, 2; y BS 1290. Guidelines for Lifting Points and Heavy Lift Criteria

Onshore Lift <sup>1</sup>	Offshore Lift <sup>2</sup> Upper Bound	Offshore Lift <sup>3</sup> Recommended	Offshore Lift <sup>4</sup> Lower Bound
1.25	2.5	2.0	1.3

TABLE 1  
DYNAMIC AMPLIFICATION FACTORS ( $F_h$ ) FOR LIGHT PACKAGES

- S 1 This factor may also be applied to a lift from place to place on a platform by the platform crane.
- Based on a seastate represented by  $H_s = 4.0$  m,  $T_z = 7.5$  sec (Beaufort 7)
  - Based on a seastate represented by  $H_s = 2.5$  m,  $T_z = 6.0$  sec (Beaufort 5)
  - Based on a seastate represented by  $H_s = 0.6$  m,  $T_z = 5.0$  sec (Beaufort 2)

Material Thickness of Thicker Part Joined (mm)	Minimum <sup>1</sup> Size Fillet Weld (mm)
Up to 12.0 inclusive	5.0
Over 12.0 to 20.0	6.0
Over 20.0 to 40.0	8.0
Over 40.0 to 60.0	10.0
Over 60.0	12.0
<sup>1</sup> Leg dimension of fillet welds	

TABLE 2 MINIMUM SIZE FILLET WELDS

## ANEXO C

### Tablas para Selección de Eslingas y grilletes. Norma ASME B 30.9

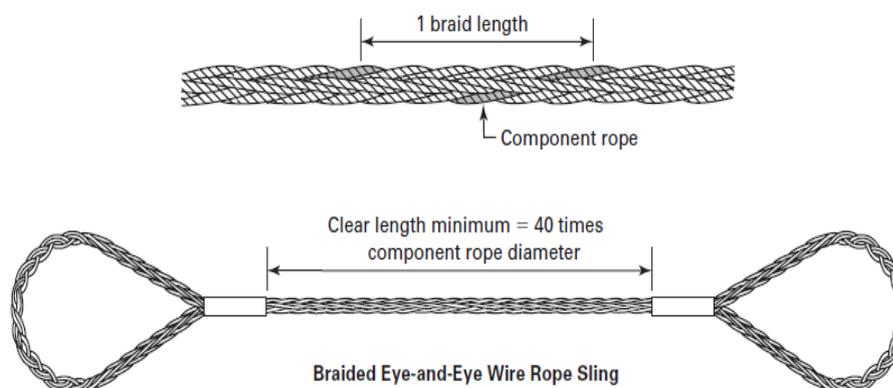
**Table 10 Rated Load for Three- and Four-Leg Slings 6×19 or 6×36 Classification  
Extra Improved Plow Steel (EIPS) Grade Independent Wire Rope Core (IWRC) Wire Rope  
Based on Design Factor = 5 and Rated Loads Expressed in Tons (2,000 lb)**

Hitch Type	Three-Leg								Four-Leg							
	Horizontal Angle								Horizontal Angle							
	Vertical		60 deg		45 deg		30 deg		Vertical		60 deg		45 deg		30 deg	
	HT	MS	HT	MS	HT	MS	HT	MS	HT	MS	HT	MS	HT	MS	HT	MS
1/4	1.6	1.9	1.4	1.7	1.2	1.4	0.81	0.97	2.2	2.6	1.9	2.2	1.5	1.8	1.1	1.3
3/16	2.5	3.0	2.2	2.6	1.8	2.1	1.3	1.5	3.3	4.0	2.9	3.5	2.4	2.8	1.7	2.0
3/8	3.5	4.3	3.1	3.7	2.5	3.0	1.8	2.2	4.7	5.7	4.1	5.0	3.3	4.1	2.4	2.9
7/16	4.7	5.8	4.1	5.0	3.4	4.1	2.4	2.9	6.3	7.8	5.5	6.7	4.5	5.5	3.2	3.9
1/2	6.1	7.6	5.3	6.6	4.3	5.4	3.0	3.8	8.1	10	7.0	8.8	5.7	7.1	4.0	5.1
9/16	7.6	9.6	6.6	8.3	5.4	6.8	3.8	4.8	10	13	8.7	11	7.1	9.0	5.0	6.4
5/8	9.3	12	8.0	10	6.5	8.3	4.6	5.9	12	16	11	14	8.7	11	6.2	7.8
3/4	13	17	11	15	9.1	12	6.4	8.4	17	22	15	19	12	16	8.6	11
7/8	17	23	15	20	12	16	8.5	11	23	30	20	26	16	21	11	15
1	22	29	19	26	16	21	11	15	29	39	25	34	21	28	15	20
1 1/8	28	36	24	31	20	26	14	18	37	48	32	42	26	34	19	24
1 1/4	34	44	30	38	24	31	17	22	45	59	39	51	32	42	23	30
1 3/8	41	53	36	46	29	38	21	27	55	71	47	62	39	50	27	36
1 1/2	49	63	42	55	34	45	24	32	65	84	56	73	46	60	32	42
1 5/8	56	73	49	63	40	52	28	37	75	98	65	85	53	69	38	49
1 3/4	65	85	57	74	46	60	33	42	87	113	76	98	62	80	44	57
1 7/8	74	97	64	84	53	68	37	48	99	129	86	112	70	91	50	64
2	84	110	73	95	60	78	42	55	113	147	98	127	80	104	56	73

**GENERAL NOTES:**

- (a) HT = hand-tucked splice.
- (b) MS = mechanical splice.
- (c) Rated loads based on minimum  $D/d$  ratio of 25/1.
- (d) Rated load based on pin diameter not larger than natural eye width or less than the nominal sling diameter.

Fig. 4 Minimum Braided Sling Length



### 9-2.10.2 Cautions to Personnel

(a) All portions of the human body shall be kept from between the sling and the load, and from between the sling and the crane hook or hoist hook.

(b) Personnel should never stand in line with or next to the leg(s) of a sling that is under tension.

(c) Personnel shall not stand or pass under a suspended load.

(d) Personnel shall not ride the sling.

(e) Do not inspect a sling by passing bare hands over the wire rope body. Broken wires, if present, may puncture the hands.

### 9-2.10.3 Effects of Environment

(a) Slings should be stored in an area where they will not be subjected to mechanical damage, corrosive action, moisture, extreme temperatures, or kinking (see Section 9-2.8).

(b) When used at or in contact with extreme temperatures, the guidance provided in Section 9-2.8 shall be followed.

(c) Fiber core wire rope slings should not be subjected to degreasing or a solvent because of possible damage to the core.

(b) *Periodic Inspection Frequency.* Periodic inspection intervals shall not exceed 1 year. The frequency of periodic inspections should be based on

- (1) frequency of sling use
- (2) severity of service conditions
- (3) nature of lifts being made
- (4) experience gained on the service life of slings used in similar circumstances

(c) Guidelines for the time intervals are

- (1) normal service — yearly
- (2) severe service — monthly to quarterly
- (3) special service — as recommended by a qualified person

(d) A written record of the most recent periodic inspection shall be maintained.

#### 9-2.9.4 Removal Criteria

A wire rope sling shall be removed from service if conditions such as the following are present:

(a) missing or illegible sling identification (see Section 9-2.7)

(b) broken wires

(1) for strand-laid and single-part slings, ten randomly distributed broken wires in one rope lay, or five broken wires in one strand in one rope lay (see Fig. 2)

(2) for cable-laid slings, 20 broken wires per lay (see Fig. 8)

(3) for six-part braided slings, 20 broken wires per braid (see Fig. 4)

(4) for eight-part braided slings, 40 broken wires per braid (see Fig. 4)

(c) severe localized abrasion or scraping

(d) kinking, crushing, birdcaging, or any other damage resulting in damage to the rope structure

(e) evidence of heat damage

(f) end attachments that are cracked, deformed, or worn to the extent that the strength of the sling is substantially affected

(g) severe corrosion of the rope, end attachments, or fittings

(h) for hooks, removal criteria as stated in ASME B30.10

(i) for rigging hardware, removal criteria as stated in ASME B30.26

(j) other conditions, including visible damage, that cause doubt as to the continued use of the sling

#### 9-2.9.5 Repair

(a) Slings shall be repaired only by the sling manufacturer or a qualified person.

(b) A repaired sling shall be marked to identify the repairing agency per Section 9-2.7.

(c) End attachments and fittings used for sling repair shall comply with the provisions of this Chapter.

(d) Repair of hooks shall comply with ASME B30.10.

(e) The wire rope used in the sling shall not be repaired.

(f) Repairs to wire rope slings shall be restricted to end attachments and fittings.

(g) Modifications or alterations to end attachments or fittings shall be considered as repairs and shall conform to all other provisions of this Chapter.

(h) All repairs shall comply with the proof test requirements of Section 9-2.6.

### SECTION 9-2.10: OPERATING PRACTICES

#### 9-2.10.1 Sling Selection

(a) Slings that appear to be damaged shall not be used unless inspected and accepted as usable under Section 9-2.9.

(b) Slings having suitable characteristics for the type of load, hitch, and environment shall be selected in accordance with the requirements of Sections 9-2.5 and 9-2.8.

(c) The rated load of the sling shall not be exceeded.

(d) For multiple-leg slings used with nonsymmetrical loads, an analysis by a qualified person should be performed to prevent overloading of any leg.

(e) Multiple-leg slings shall be selected according to Tables 7 through 15 when used at the specific angles

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Computers and Structures Inc, SAP2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures: Basic Analysis Reference, California, 1998.
- [2] R. L. Brockenbrough y F. S. Merrit , Manual de Diseño de Estructuras de Acero, vol. 2, L. M. R. A., Ed., Bogotá: Mc Graw Hill, 1997.
- [3] American Petroleum Institute (API), *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms*, 1999.
- [4] British Standards BS6166, *Lifting slings, rating and marking*, vol. parte 1 y 2, 1991.
- [5] Shell U.K. Exploration and Production , «Guidelines for Lifting Points and Heavy Lift Criteria,» 1991.
- [6] American Institute of Steel Construction, Manual of Steel construction. Load and resistance factor design, 1999.