



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICA Y MATEMÁTICAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DE PLATAFORMAS MARINAS TIPO  
“JACK UP”, A FABRICAR EN CHILE**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL**

**ALEJANDRO URQUIZA CRUZ**

**PROFESOR GUÍA:  
HUGO BAESLER CORREA.**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
MAXIMILIANO ASTROZA INOSTROZA  
MAURICIO SARRAZIN ARELLANO**

**SANTIAGO DE CHILE  
OCTUBRE 2007**

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL  
POR: ALEJANDRO URQUIZA C.  
PROF. GUIA: HUGO BAESLER C.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DE PLATAFORMAS MARINAS TIPO  
“JACK UP”, A FABRICAR EN CHILE

En el trabajo que se desarrolla a continuación, se evalúa una alternativa a la problemática existente hoy en Chile para el desarrollo de proyectos marítimos y portuarios de ingeniería, construcción y montaje, que dice relación con la escasez de plataformas marinas del tipo Jack Up, las que permiten llevar a cabo tareas de exploración geotécnica del fondo del mar, ingeniería, construcción y montaje. Esto desde la perspectiva de estimular la creación de una industria chilena que se dedique a dar solución a las carencias de maquinaria pesada y desarrollo tecnológico industrial que le permita a Chile dar un salto cualitativo en el desarrollo de su economía y su sociedad.

Por esta razón, el objetivo central del trabajo es realizar un diseño básico de una plataforma tipo Jack Up y el estudio de factibilidad para desarrollar la construcción de esta estructura en Chile, comparando los costos de fabricación con los costos de compra de este equipo en el extranjero.

Para esto se procedió generando modelos estructurales computacionales a partir de las necesidades específicas que requiere hoy el sector marítimo portuario para el desarrollo de proyectos de ingeniería marítima, considerando estructuraciones y formatos comunes a los existentes hoy en el mercado internacional de plataformas marítimas tipo Jack Up, a fin de hacerlos compatibles y comparables. Fue necesario también, considerar los costos actuales que tiene desarrollar estructuras de acero en el mercado nacional.

El resultado de este trabajo en el ámbito técnico es la obtención de una estructuración básica de una plataforma marina tipo Jack Up liviana y otra semipesada, propuesta como base para futuras estructuraciones y construcciones de este tipo de equipos. Además da una breve caracterización de los criterios según los cuales se debería apoyar la decisión de invertir o no en este tipo de proyectos. En el ámbito económico este trabajo permite dar cuenta de la gran diferencia que significa comprar este tipo de equipos en el extranjero en comparación con fabricarlos en Chile, planteando la conveniencia de esta última opción.

Se concluye que, incluso considerando los riesgos que significa emprender tareas de esta magnitud en una industria poco desarrollada como la nuestra, es factible llevar a cabo con éxito este tipo de proyectos en Chile y en consecuencia es posible estimular el desarrollo tecnológico industrial que nos permita avanzar hacia mejores condiciones como país.

*“La razón siempre ha existido,  
pero no siempre de forma  
razonable”*

*- K. M. -*

*A mis padres y hermanos.  
Sin ellos, nada de esto sería  
posible...*

## **AGRADECIMIENTOS**

En este largo andar que constituyó mi vida universitaria durante los últimos años, fueron muchos los que pasaron día a día por mi lado y dejaron en mí algo de su historia que ahora también es mía. Tratar de mencionarlos a todos sería tan absurdo como querer meter el mar en una botella y por lo tanto no viene al caso intentarlo. Sin embargo, hay algunos que no pueden quedar fuera de esta página, pues de una u otra forma se ganaron mi respeto y consideración más allá de lo común.

Gracias a mi padre, que me sigue demostrando que para ser sabio no hace falta devorarse una biblioteca ni mucho menos tener un título. Gracias a mi madre, que es un ejemplo vivo de que el hombre nuevo está lejos de ser una retórica anacrónica y hacia donde todos deberíamos intentar llegar. Gracias a mi hermana, que sin darse cuenta supera cotidianamente las vicisitudes que nos impuso la historia y como buena hermana mayor, se convierte cada vez más en un ejemplo a seguir. Gracias a mi hermano, a quien cada vez que miro me recuerda que estar vivo es la mayor alegría y quien llenó mi corazón de la humanidad que me faltaba en los momentos más difíciles. Son ustedes la fuente que me da la fuerza para seguir cuando las ganas se hacen escasas.

Gracias a mis compañeros, esos que no se hacen en las aulas sino en la lucha cotidiana que compone este largo andar que llamamos vida, pues me demuestran alegremente que la historia de esta se escribe en cada momento y es nuestro deber impedir que se nos pase por el lado.

Gracias al Gordo y al Flaco por estos 14 años de amistad sincera y desinteresada, a Carolina, a Eleonora y Mabel, que soportaron conmigo intensos tiempos de cambios, que sin duda llevan consigo parte importante de lo que soy y desde donde definitivamente vengo cada vez que me reconozco.

Todos ustedes fueron la base y el cuerpo que permitió este trabajo. A mi tan sólo me tocó escribirlo.

## ÍNDICE

<b>SIMBOLOGÍA.....</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1. Objetivos.....</b>	<b>11</b>
1.1.1. Objetivo General.....	11
1.1.2. Objetivos específicos.....	11
<b>1.2. Metodología.....</b>	<b>11</b>
<b>2. MARCO GENERAL.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Importancia del desarrollo de proyectos portuarios en Chile.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2. Desarrollo Industrial y Tecnológico.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3. Importancia de las Plataformas Marinas.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4. Plataformas Marinas existentes.....</b>	<b>18</b>
2.4.1. Clasificación de plataformas marinas de acuerdo al tipo.....	18
2.4.2. Clasificación de plataformas marinas de acuerdo a la capacidad.....	19
2.4.3. Clasificación de plataformas marinas de acuerdo al montaje.....	20
<b>2.5. Definición del Problema.....</b>	<b>22</b>
<b>3. ESTRUCTURACION, DISEÑO Y MODELACIÓN DE LAS PLATAFORMAS.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1. Plataforma Liviana.....</b>	<b>23</b>
3.1.1. Requerimientos Generales.....	23
3.1.2. Definición de la estructura.....	23
3.1.2.1. Módulos.....	24
3.1.2.2. Columnas.....	25
3.1.2.3. Mesa de la plataforma.....	26
3.1.3. Definición de los modelos estructurales computacionales.....	28
<b>3.2. Plataforma Semipesada.....</b>	<b>30</b>
3.2.1. Requerimientos Generales.....	30
3.2.2. Definición de la estructura.....	31
3.2.2.1. Módulos.....	31
3.2.2.2. Columnas.....	32

3.2.2.3. Mesa de la plataforma.....	32
3.2.3. Definición de los modelos estructurales computacionales.....	34
<b>3.3. Definición de las condiciones de diseño.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4. Definición de las condiciones ambientales.....</b>	<b>35</b>
3.4.1. Meteorología.....	36
3.4.1.1. Máxima presión del viento.....	36
3.4.1.2. Temperaturas.....	36
3.4.2. Hidrografía.....	36
3.4.2.1. Olas de diseño.....	36
3.4.2.2. Corrientes.....	37
3.4.2.3. Mareas.....	37
<b>3.5. Definición de los modelos y estados de cargas.....</b>	<b>37</b>
3.5.1. Cargas permanentes.....	38
3.5.1.1. Cargas de peso propio.....	38
3.5.1.2. Cargas hidrostáticas.....	39
3.5.2. Sobrecargas de uso.....	39
3.5.2.1. Cargas Uniformemente repartidas.....	39
3.5.2.2. Cargas de Grúa.....	39
3.5.3. Cargas medioambientales.....	40
3.5.3.1. Acciones del viento.....	40
3.5.3.2. Acción del Oleaje.....	40
3.5.3.3. Acción de las corrientes.....	40
3.5.3.4. Acción de la nieve.....	40
3.5.3.5. Acción del hielo.....	41
3.5.3.6. Acción sísmica.....	41
3.5.3.7. Esfuerzo y deformaciones debido a la temperatura.....	41
3.5.4. Combinaciones de Carga.....	41
<b>3.6. Definición del diseño sísmico.....</b>	<b>42</b>
3.6.1. Método de diseño.....	42
3.6.2. Punto de aplicación de las cargas sísmicas.....	42
3.6.3. Dirección de las cargas sísmicas.....	42

3.6.4.	Distribución del corte sísmico total.....	43
3.6.5.	Definición de los parámetros sísmicos.....	43
<b>3.7.</b>	<b>Otras consideraciones del diseño.....</b>	<b>44</b>
3.7.1.	Protección anticorrosivo.....	44
3.7.2.	Deformaciones admisibles.....	44
3.7.3.	Código de diseño.....	45
3.7.4.	Calidad del Acero.....	45
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LOS MODELOS.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1.</b>	<b>Plataforma liviana.....</b>	<b>46</b>
4.1.1.	Consideraciones para el análisis.....	46
4.1.2.	Análisis de los elementos estructurales.....	46
4.1.3.	Análisis de deformaciones.....	47
4.1.4.	Análisis Sísmico.....	50
<b>4.2.</b>	<b>Plataforma Semipesada.....</b>	<b>52</b>
4.2.1.	Consideraciones para el análisis.....	52
4.2.2.	Análisis de los elementos estructurales.....	52
4.2.3.	Análisis de deformaciones.....	53
4.2.4.	Análisis Sísmico.....	56
<b>4.3.</b>	<b>Análisis de la flotabilidad de las plataformas en el mar.....</b>	<b>58</b>
<b>5.</b>	<b>PRESUPUESTO DE INVERSIÓN.....</b>	<b>59</b>
<b>5.1.</b>	<b>Alternativa 1: Construcción y fabricación en Chile.....</b>	<b>59</b>
<b>5.2.</b>	<b>Alternativa 2: Adquisición en el extranjero.....</b>	<b>60</b>
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO.....</b>	<b>62</b>
<b>6.1.</b>	<b>Criterios de Evaluación.....</b>	<b>62</b>
6.1.1.	Costos de construcción y/o adquisición.....	62
6.1.2.	Costo de traslado.....	53
6.1.3.	Mantenimiento y reparación.....	63
6.1.4.	Confianza y respaldo.....	63
6.1.5.	Funcionalidad v/s Costo.....	64
<b>6.2.</b>	<b>Evaluación.....</b>	<b>64</b>
6.2.1.	Alternativa 1.....	64

6.2.1.1. Costos de construcción.....	64
6.2.1.2. Costo de traslado.....	64
6.2.1.3. Mantenimiento y reparación.....	65
6.2.1.4. Confianza y respaldo.....	65
6.2.1.5. Funcionalidad v/s Costo.....	65
6.2.2. Alternativa 2.....	66
6.2.2.1. Costos de adquisición.....	66
6.2.2.2. Costo de traslado.....	66
6.2.2.3. Mantenimiento y reparación.....	66
6.2.2.4. Confianza y respaldo.....	66
6.2.2.5. Funcionalidad.....	67
<b>6.3. Comparación y ponderaciones.....</b>	<b>67</b>
<b>7. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>68</b>
7.1. Factibilidad Técnica.....	68
7.2. Factibilidad Económica.....	69
7.3. Otros alcances.....	70
<b>8. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO D.....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO E.....</b>	<b>131</b>
<b>ANEXO F.....</b>	<b>153</b>
<b>ANEXO G.....</b>	<b>208</b>
<b>ANEXO H.....</b>	<b>268</b>



## SIMBOLOGÍA

A continuación se detalla la simbología utilizada en el desarrollo de este trabajo:

- $f$  : Fuerza actuando sobre un cuerpo debido a la corriente
- $C_D$  : Coeficiente de arrastre para cuerpos sumergidos
- $A$  : Área de la sección de un cuerpo sumergido, a lo largo del plano perpendicular al eje del elemento sujeto a la acción de una ola.
- $\rho_0$  : densidad del agua
- $U_C$  : Velocidad de la corriente de agua
- $U$  : Velocidad de un cuerpo afecto a la fuerza de la corriente
- $PP_P$  : Peso propio de la plataforma
- $PP_G$  : Peso propio de la grúa
- $SC_C$  : Sobrecarga debido a la corriente
- $SC_V$  : Sobrecarga debido al viento
- $SC_A$  : Sobrecarga debido al almacenamiento
- $SC_G$  : Sobrecarga debido a la grúa
- $O$  : Fuerza debido al oleaje
- $S$  : Fuerza debido al sismo
- $A_O$  : Aceleración efectiva máxima del suelo
- $C_{max}$  : Valor máximo del coeficiente sísmico
- $I$  : Coeficiente relativo a la importancia, uso y riesgo de falla de una estructura o equipo
- $g$  : Fuerza de gravedad
- $\xi$  : Razón de amortiguamiento
- $Q_O$  : Esfuerzo de corte basal de una estructura
- $Q_{min}$  : valor mínimo del esfuerzo de corte basal
- $R$  : factor de modificación de la respuesta estructural
- $T'$  : Parámetro que depende del tipo de suelo analizado
- $n$  : Parámetro que depende del tipo de suelo analizado

# 1. INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de proyectos de obras marítimas y portuarias, tanto para la fase de ingeniería como para la de construcción y montaje, se requiere la utilización de plataformas marinas de distintos tipos, como son las flotantes con sistemas de amarre mediante anclas o muertos en fondo de mar y las del tipo Jack Up, que consisten en plataformas flotantes, livianas, semipesadas o pesadas, que disponen en su equipamiento de columnas que se bajan hasta apoyarse en el fondo del mar, de manera de permitir el levantamiento de la plataforma flotante sobre el nivel del mar, con lo que se logra habilitar una plataforma de operaciones para colocar equipos y materiales para la construcción de las obras marítimas o portuarias requeridas.

Con el crecimiento sostenido de la economía del país en el área de la minería y en el área energética, se han generado numerosos proyectos de obras marítimas y portuarias a lo largo de la costa del país, lo que ha generado una sobredemanda de plataformas para exploración geotécnica marina y para la construcción y montaje de obras marítimas y portuarias. Sin embargo, el mercado nacional del desarrollo de proyectos de inversión en el área marítima portuaria, tiene muy poca disponibilidad de equipos del tipo plataformas Jack Up, lo que ha sido un importante condicionamiento para que se produzca una competencia entre empresa consultoras del área de mecánica de suelo con capacidad de realizar exploración geotécnica marina, así como de empresas constructoras con capacidad de realizar construcción y montaje en zonas de mar con profundidades mayores a los 20 y 30 metros.

Hoy en día prácticamente existen en el mercado nacional sólo 2 empresas constructoras que tienen en su equipamiento plataformas Jack Up para profundidades mayores a 20 metros.

Estas razones motivan la necesidad de investigar y realizar una evaluación técnica económica de la fabricación en Chile de plataformas Jack Up livianas y semipesadas con costos competitivos respecto a la alternativa de adquirir equipos nuevos de proveedores internacionales o la alternativa de arriendo de equipos traídos desde el exterior.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo General**

Este trabajo analiza la factibilidad técnica y económica del diseño y fabricación en Chile de plataformas tipo Jack Up livianas y semipesadas en comparación con las plataformas del mismo tipo suministradas por proveedores internacionales.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Realizar el prediseño de dos plataformas tipo Jack Up, una liviana y una semipesada.
- Estimar los costos de construcción en Chile de ambas plataformas.
- Comparar los costos de construcción en Chile de ambas plataformas, con los costos de adquirirlas en el extranjero.
- Evaluar la factibilidad de la fabricación de ambas plataformas en Chile, y la factibilidad de la compra de los equipos en el extranjero.

## **1.2. Metodología**

Para poder realizar un prediseño acorde a las necesidades del mercado chileno de plataformas, el primer paso fue la toma de conocimiento respecto de la oferta y la demanda de este tipo de equipos en Chile. Así se tiene certeza de la posibilidad de contar con datos reales a la hora de establecer los costos y las comparaciones necesarias. Al mismo tiempo, fue necesario recopilar información referente a los proveedores de equipos en el extranjero.

Una vez conocidas las necesidades del mercado interno, se procedió a definir, en función de estos requerimientos, la geometría y las características generales de los prediseños de las plataformas a desarrollar.

Luego, con las características establecidas, es posible definir las cargas y combinaciones de éstas, a las que se verán sometidas las plataformas en funcionamiento, combinaciones que son necesarias para poder desarrollar el prediseño.

Para desarrollar, analizar y verificar los modelos de ambas plataformas, se utilizó el único software computacional que contaba con licencia de uso en el lugar que se desarrollo este trabajo, que es el SAP2000. Cabe mencionar que el período de las cargas solicitantes fue siempre mucho mayor que los períodos de vibración de las estructuras en cuestión, lo que posibilitó un análisis estático en ambos casos.

Ya con los resultados de los análisis se procedió a estimar los costos de fabricación en Chile de los prediseños conseguidos, los costos de suministro puesto en Chile de plataformas de proveedores internacional y los costos de arriendo de equipos de plataformas Jack Up.

Finalmente, con la obtención de estos datos fue posible analizar comparativamente las distintas opciones de costos antes mencionadas, a fin de obtener resultados que hicieran posible concluir respecto de la conveniencia de una u otra opción.

En definitiva, el desarrollo de este trabajo siguió un plan de trabajo que se puede resumir en la siguiente lista:

- **Recopilación de antecedentes y bibliografía referente a:**
  - Plataformas Jack Up existentes en el país.
  - Proveedores de equipos Jack Up internacionales.
  - Diseño de plataformas Jack Up.
  - Condiciones marítimas ambientales de uso de las plataformas.
  - Operaciones y maniobras de uso, traslado e instalación.
  - Mantenimiento de plataformas y sus equipos de control.
- **Estudio y análisis de bibliografía y antecedentes recopilados.**
- **Definición de las necesidades del mercado nacional de plataformas.**
- **Definición de la geometría de operación de las plataformas liviana y semipesada y de los materiales a utilizar.**

- **Definición de las cargas y combinaciones a que estará sometida la plataforma y que serán considerados en el diseño.**
- **Definición del software que será utilizado para el análisis y verificación del diseño de la plataforma.**
- **Definición de modelo para plataforma liviana y semipesado.**
- **Análisis de resultados.**
- **Estimación de costos de inversión de plataformas fabricadas en Chile.**
- **Estimación del costo de suministro en Chile de plataformas, por parte de proveedores internacionales.**
- **Estimación de costos de arriendo de equipos tipo plataforma Jack Up.**
- **Análisis comparativo de costos entre plataformas nuevas fabricadas en Chile comparado con suministros de proveedores internacionales o la conveniencia de arriendo de equipos desde el exterior.**
- **Resultados del análisis comparativo.**
- **Conclusiones y recomendaciones.**

## **2. MARCO GENERAL**

### **2.1. Importancia del desarrollo de proyectos portuarios en Chile**

La actual globalización de un sistema económico basado en el librecambio de productos entre los países participantes del mercado mundial, ha hecho del intercambio a través de los mares, una de las actividades más importantes a nivel mundial. Ya en el año 2003, la actividad marítima portuaria alcanzaba un total de 24.589 mil millones de toneladas-millas de mercancías cargadas, con un porcentaje de crecimiento anual del 0,5%.

Del total de esta actividad, sólo el 1% se realiza en puertos Sudamericanos, ocupando nuestro país el tercer lugar en toneladas de carga portuaria movilizadas y el primer lugar en las costas Sudamericanas del océano Pacífico.

El desarrollo de la historia económica de Chile basada en la importación desde el extranjero de medios de producción y en la exportación al comercio mundial de minerales y materias primas en general, hacen necesario un flujo permanente entre el mercado nacional y el mercado internacional, y la tenencia de las vías necesarias para que este flujo sea eficiente y eficaz. Por estas razones desde la década de los 60 en adelante se ha llevado a cabo un “proceso de modernización portuaria”, que ha contado con diversas etapas, entre las cuales están:

- La creación de empresas estatales a cargo de explotar, administrar y conservar los puertos pertenecientes al Estado chileno.
- Posterior creación y eliminación de leyes referentes a la actividad portuaria, todo tendiente a equiparar la competencia entre los puertos privados y estatales.
- La incorporación de capitales y gestión privada en el desarrollo de obras públicas portuarias, a través de las concesiones.

En este contexto y considerando que Chile es un país predominantemente costero, la Tabla 2.1 indica que el porcentaje de participación de los puertos como rutas de entrada o salida al comercio exterior es mayor al 80% en comparación con todas las otras vías de transporte.

Carga según medio de transporte	Año				
	2001	2002	2003	2004	2005
Importaciones por vía marítima	15.257	17.646	18.026	22.066	25.874
Exportaciones por vía marítima	37.113	36.109	39.494	41.724	44.803
<b>Total vía marítima</b>	<b>52.370</b>	<b>53.755</b>	<b>57.520</b>	<b>63.790</b>	<b>70.677</b>
Total Importaciones país	26.917	33.028	30.597	34.947	36.471
Total exportaciones país	38.618	37.468	40.791	43.271	46.455
<b>Total comercio exterior</b>	<b>65.535</b>	<b>70.496</b>	<b>71.388</b>	<b>78.218</b>	<b>82.926</b>
% Import. marít./ Total Import.	57 %	53 %	59 %	63 %	71 %
% Export. Marít./ Total Export.	96 %	96 %	97 %	96 %	96 %
<b>% Total Marítima / Total País</b>	<b>80 %</b>	<b>76 %</b>	<b>81 %</b>	<b>82 %</b>	<b>85 %</b>

Fuente: Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante

Además, como se ve en la Tabla 2.2 de acuerdo a los datos recopilados hasta el año 2005, todo indicaba que la utilización de esta ruta de comunicación con el comercio exterior aumentaría año a año, mostrando tasas de crecimiento del comercio a través de esta vía cercanas al 5% anual.

Año	Total carga general	Graneles	Total carga
1995	15.387	29.068	44.455
1996	15.525	35.795	51.320
1997	16.704	34.315	51.019
1998	16.030	33.809	49.839
1999	16.437	36.757	53.194
2000	17.203	38.999	56.202
2001	18.127	37.794	55.921
2002	18.917	36.324	55.241
2003	20.325	38.475	58.800
2004	23.093	42.960	66.053
2005	24.604	46.500	71.104
<b>Tasa variación 2005 / 2004</b>	<b>6.5 %</b>	<b>22.7 %</b>	<b>7.6 %</b>
<b>Tasa variación 2000 / 1995</b>	<b>2.3 %</b>	<b>13.2 %</b>	<b>4.8 %</b>
<b>Tasa variación 2005 / 2000</b>	<b>7.4 %</b>	<b>9 %</b>	<b>4.8 %</b>
<b>Tasa variación 2005 / 1995</b>	<b>4.8 %</b>	<b>11.2 %</b>	<b>4.8 %</b>

Fuente: Cámara Marítima y Portuaria de Chile A.G.

Más aun, la participación de Chile en la APEC y el importante número de firmas de tratados de libre comercio hacen suponer que en el futuro estas tasas de crecimiento serán aún mayores,

además los estudios de las consultoras pertenecientes al ramo, como la inglesa Drewry's, muestran que los puertos chilenos se proyectan como entrada clave para el intercambio comercial de Asia, no sólo con Chile sino con todo el cono Sur y en consecuencia la disponibilidad y capacidad de estos se consolidará aún más como un punto clave en el desarrollo estratégico de la economía de nuestro país.

De esta forma, es innegable que el desarrollo de más y mejores proyectos de infraestructura portuaria es completamente necesario para el sustento económico de Chile y su crecimiento.

## **2.2. Desarrollo Industrial y Tecnológico**

Desde el punto de vista histórico, a mediados del siglo XIX cuando Chile comienza a vivir su proceso de transición al Capitalismo Industrial, se produce un desarrollo importante de las relaciones entre el mercado nacional y el mercado internacional. En este marco, se comienzan a generar importantes avances en los sistemas productivos nacionales, incentivados generalmente por las casas comerciales extranjeras que se habían situado en Chile, varias de las cuales hicieron de nuestro país su centro de operaciones en América. Así fue como se comenzó a gestar la dependencia que hoy existe entre Chile y el mercado internacional, no tan sólo por la necesidad de la existencia de mercados externos para comercializar la mercancía nacional, sino para abastecernos de los medios de producción necesarios para la fabricación de esta mercancía. Esto pues, nuestra economía se sustenta en gran medida por la exportación de materias primas y minerales que no pasan por un gran proceso de manufactura, por lo que históricamente, los esfuerzos por la generación de tecnología y el desarrollo industrial que permitan dar valor agregado a los productos chilenos han sido escasos.

Por estas razones, Chile no cuenta con un sector de la Industria que sea suficientemente fuerte y que esté preocupado constantemente del desarrollo de los medios de producción que se necesitan para avanzar en el desarrollo industrial del modelo económico chileno.

Así es como no se cuenta en el mercado nacional con una gran cantidad de fundiciones o maestranzas y las que existen, se dedican básicamente a la elaboración de productos básicos y repuestos en general, nunca al desarrollo de maquinaria pesada. Lo que hace necesaria la



importación desde el extranjero de prácticamente toda la maquinaria que permite mantener la producción en casi la totalidad de los sectores industriales que existen en el mercado nacional.

Como consecuencia de esto último, Chile siempre ha sido un país que camina hacia el desarrollo, pero que nunca ha logrado consolidarlo, pues siempre ha dependido del mercado internacional para potenciar su industria local. Luego, siempre que se hable de promover intentos por generar un desarrollo verdadero de nuestro país, será necesario tener en cuenta la potenciación de un sector que provea a la industria nacional del desarrollo tecnológico suficiente para llevar a cabo todas las tareas de la industria.

Dentro de este contexto también se encuentra la industria portuaria, toda vez que la mayoría de la maquinaria que se utiliza en esta industria, sino la totalidad, es de procedencia extranjera y por ende, decir que la actividad portuaria es una actividad estratégica para el desarrollo de la economía nacional, equivale a reconocer que es necesario proveerla de un sector de la industria nacional que supla sus necesidades productivas, ya sea de maquinaria o de infraestructura en general.

Es en este sentido que se enmarca el desarrollo de este trabajo, pues a pesar de ser un ínfimo y modesto primer intento por aportar en la búsqueda de alternativas tecnológicas, abre la inquietud por seguir indagando en el desarrollo del tema planteado, incluso en contra de todos aquellos que pretenden monopolizar el conocimiento existente y se oponen a la colaboración y el estímulo de estas iniciativas, argumentando razones de “importancia estratégica en el mercado”.

### **2.3. Importancia de las Plataformas Marinas**

Como se vio en puntos anteriores, la importancia estratégica de la actividad portuaria para el desarrollo de la economía nacional, potencia el mejoramiento de la infraestructura portuaria existente en Chile, al mismo tiempo que genera el desarrollo de nuevos proyectos portuarios a lo largo de la costa chilena. Además, el crecimiento sostenido del sector minero chileno y de la demanda energética interna, estimula el aumento en el número de proyectos portuarios y de

obras marítimas que se generaron en los últimos años y que se generarán en el futuro. Esto implica un aumento de la demanda de equipos que permiten la exploración geotécnica marina y la construcción y montaje de dichas obras marítimas y portuarias, como lo son las plataformas marinas.

Sin embargo, la escasez de este tipo de equipos en el mercado nacional genera dos situaciones que es necesario corregir: a saber, las posibilidades de ganar las concesiones de construcción de obras portuarias que requieren de este tipo de maquinarias están inclinadas hacia la empresa que posee el control de la mayoría de estos equipos en el mercado nacional, y baja la potencialidad de desarrollar la industria portuaria debido a la escasez de plataformas en el mercado interno que implica dificultades para el óptimo desarrollo de las faenas de los proyectos portuarios..

De estas razones se desprende la necesidad de contar con una mayor disponibilidad de opciones que permita escoger libremente a quien desarrollará los proyectos portuarios públicos o privados que existan en el ámbito nacional y por ende es necesario que exista en nuestro mercado, una mayor posibilidad de adquisición de este tipo de maquinaria. Así, se estará estimulando la mejora en las condiciones portuarias chilenas y el desarrollo de proyectos beneficiosos para la comunidad nacional.

## **2.4. Plataformas marinas existentes**

Como se desprende de las secciones anteriores, el mercado internacional de plataformas marinas es muy extenso, sin embargo el mercado interno de plataformas marinas en general, es bastante reducido, más aún si se particulariza en las de tipo Jack Up. A continuación se describen algunas clasificaciones que se pueden hacer en el mercado internacional.

### **2.4.1. Clasificación de plataformas marinas de acuerdo al tipo:**

- **Fijas:** Son plataformas que se utilizan en proyectos portuarios o petroleros y tienen la particularidad de que, una vez montada, sus patas no pueden moverse.

- **Jack Up:** Tienen la particularidad de poseer sistemas hidráulicos en sus patas móviles, lo que les permite una variación en la profundidad de trabajo de estas, estando ya montadas. Generalmente están formadas por módulos desmontables que hacen posible un cambio en la geometría de la plataforma dependiendo del proyecto en que se utilizará. Se recomienda no utilizarlas para profundidades mayores que 100 metros.

#### 2.4.2. Clasificación de plataformas marinas de acuerdo a la capacidad:

- **Livianas:** Utilizadas para soportar cargas vivas de hasta unas 1000 toneladas. Generalmente son utilizables en profundidades de hasta unos 20 metros.
- **Semipesados:** Utilizadas para soportar cargas vivas de hasta unas 5000 toneladas. Generalmente son utilizables en profundidades de hasta unos 40 metros.
- **Pesadas:** Utilizadas para soportar cargas vivas mayores a 5000 toneladas. Generalmente son utilizables en profundidades mayores a 40 metros.

En Chile existen sólo dos empresas que cuentan con plataformas tipo Jack Up, siendo una, poseedora de 3 del total de 4 plataformas existentes de este tipo. Las características de dichos equipos se detallan a continuación:

<b>Tabla 2.3: Características de las plataformas tipo Jack Up existentes en Chile</b>				
<b>Características</b>	<b>Plataforma 1</b>	<b>Plataforma 2</b>	<b>Plataforma 3</b>	<b>Plataforma 4</b>
Carga útil máxima	250 Toneladas	370 Toneladas	500 Toneladas	250 Toneladas
Superficie de cubierta	24 x 15 metros	24 x 18 metros	39 x 30 metros	18 x 15 metros
Profundidad del mar	20 metros	25 metros	25 metros	20 metros
Capacidad grúa	150 Toneladas	150 Toneladas	150 Toneladas	150 Toneladas

En el anexo A se encuentran imágenes de las plataformas existentes en el mercado chileno, a continuación, la figura 2.1 muestra 2 plataformas típicas del tipo Jack Up:

*Figura 2.1: Plataformas típicas del tipo Jack Up*



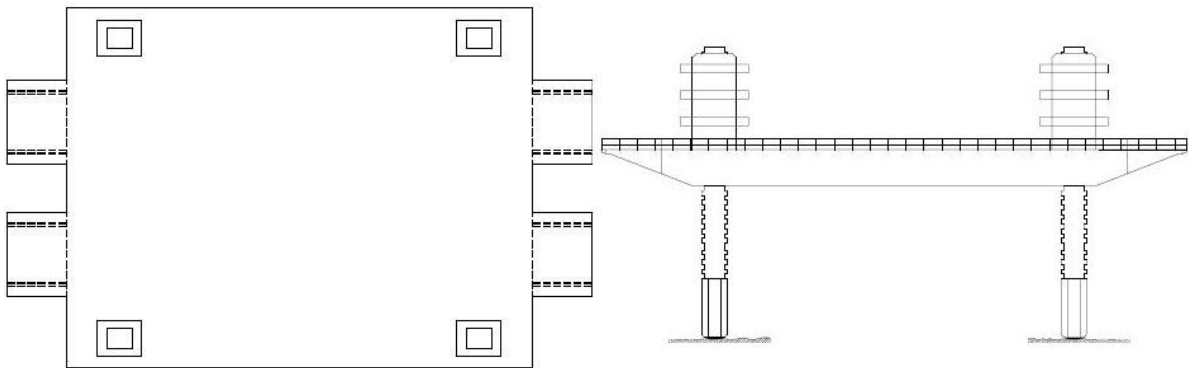
### **2.4.3. Clasificación de plataformas marinas de acuerdo al montaje:**

- **Estándar:** Estas plataformas dividen su estructuración en 2 partes: la primera está conformada por la mesa de la plataforma, que es construida con una geometría definitiva que no puede ser modificada. La segunda parte la constituyen las patas que se elevan gracias a un sistema de gatos hidráulicos. La figura 2.2 muestra un esquema simple de este tipo de plataformas.
- **Modular:** Las plataformas de tipo modular, al igual que las Estándar, basan su estructuración en las mismas 2 partes, sin embargo, la estructuración de la mesa de la plataforma es completamente distinta, pues al contrario de ser fija, se compone de un sistema de módulos de distintos tamaños, semejantes a un container, que tienen la posibilidad de ensamblarse de acuerdo a la geometría que se requiera. La figura 2.3 muestra un esquema simple de este tipo de plataformas.

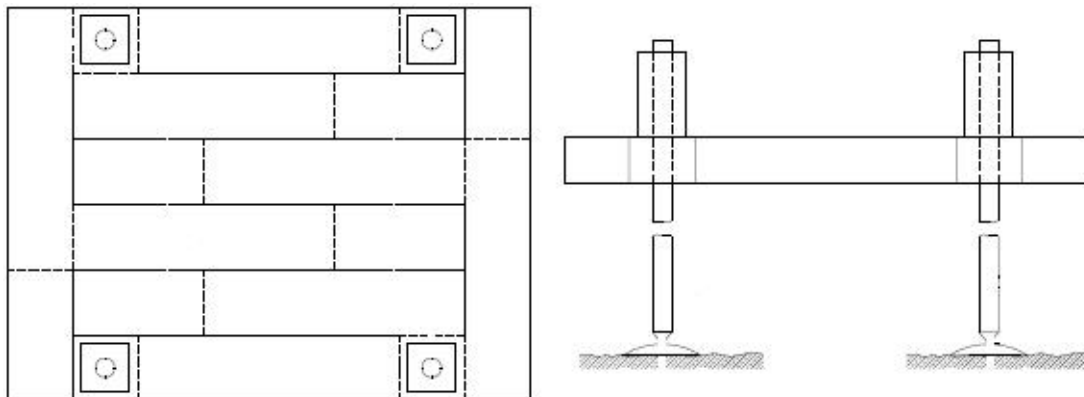
Dependiendo del uso que se le quiera dar al equipo, se puede optar por adquirir una plataforma estándar o una modular, sin embargo, es necesario tener en cuenta que este último sistema presenta las siguientes ventajas:

- Otorga una gran gama de posibilidades geométricas para su disposición final, lo que permite optimizar el uso del espacio de acuerdo a las faenas que se requiere realizar.
- Al ser desmontable ofrece la alternativa de traslado por tierra hasta las costas del lugar de utilización, bajando los costos atribuibles al traslado, pues requiere de una menor utilización de remolques.
- Al mismo tiempo, esta misma característica permite conservar la plataforma desmontada en un galpón u otro lugar pertinente para este uso, lo que disminuye las exposiciones a la corrosión que se generan al guardarla en un sitio de atraque en el mar y disminuye los costos de almacenaje, pues no requiere del arriendo de un sitio en las costas marinas.

*Figura 2.2: Esquema de una plataforma de tipo Estándar*



*Figura 2.3: Esquema de una plataforma de tipo Modular*



## 2.5. Definición del Problema

Como se puede observar en la sección anterior, el mercado nacional de plataformas tipo Jack Up es bastante reducido y en consecuencia, un aumento en la demanda por plataformas para exploración geotécnica marina es difícilmente cubierto, más aún, de acuerdo a la maquinaria existente, no es posible desarrollar proyectos que consideren profundidades mayores a los 25 metros, lo que limita las oportunidades de emprender en proyectos de carácter más ambiciosos.

Se trata entonces de aportar en esa dirección, para lo cual es necesario evaluar la factibilidad de tener maquinaria nacional que cumpla con los siguientes requerimientos:

- posibilitar una mayor cantidad de exploración geotécnica marina y
- permitir el desarrollo de proyectos de mayor profundidad.

Luego, el trabajo de prediseño de esta memoria se centrará en satisfacer esas dos necesidades, por lo cual se desarrollará el prediseño de:

- a. Una plataforma liviana que permita la exploración geotécnica marina
- b. Una plataforma semipesada que permita el desarrollo de proyectos en profundidades mayores a los 25 metros.

### **3. ESTRUCTURACION, DISEÑO Y MODELACIÓN DE LAS PLATAFORMAS**

#### **3.1. Plataforma Liviana**

##### **3.1.1. Requerimientos generales**

De acuerdo a las necesidades planteadas en el capítulo anterior, las características básicas con que contará la plataforma liviana se muestran en la tabla 3.1:

<b>Tabla 3.1: Requerimientos mínimos de la plataforma liviana</b>	
Largo	18m
Ancho	15m
Profundidad del mar	20m
Capacidad de Sobrecarga total	260 Ton
Capacidad de Sobrecarga	1Ton/m <sup>2</sup>

Debido a que la finalidad de este equipo es principalmente la exploración geotécnica marina, no es necesario diseñarla para soportar cargas de grúas.

Además, considerando que en el proceso de armado en el mar y de traslado hacia la ubicación de utilización la plataforma no cuenta con el soporte de sus patas, es necesario que el modelo desarrollado no exceda el peso máximo que le permita mantenerse a flote durante estos procesos.

##### **3.1.2. Definición de la estructura**

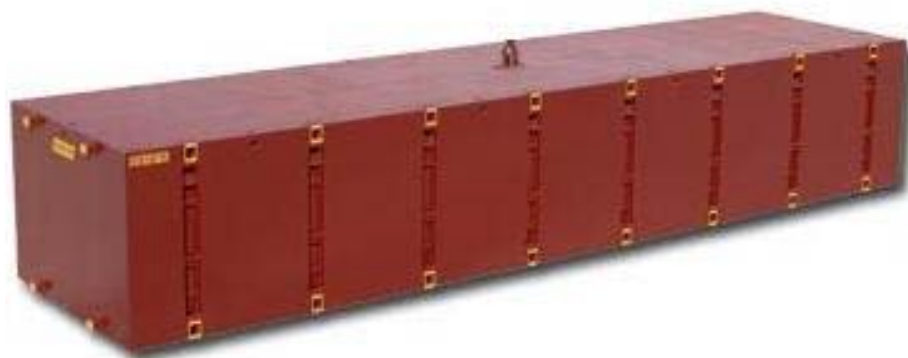
La mayoría de los equipos que existen en el mercado nacional e internacional son modulares. Por esa razón y por las ventajas que presenta según se señaló antes, el prediseño de la plataforma será en base a esta estructuración.

### 3.1.2.1.Módulos

Para esto se definirán tres tipos de módulos distintos: **cuádruple, doble y simple**. Los que serán prediseñados a partir de los del mercado internacional, de modo que sean compatibles y utilizables en conjunto. De todas formas es necesario mencionar que, a pesar de los intentos por obtener el detalle del interior de los módulos del mercado internacional, fue imposible contar con la información certera, y en definitiva, a pesar de que las características de estos puedan ser similares a las de los prediseños de este trabajo, sólo se encontrará semejanza exacta en las dimensiones externas de los módulos y no en las características internas de estos. En las figuras 3.1 y 3.2 se observan las apariencias externas de los módulos del mercado internacional a partir de los cuales se prediseñarán los módulos cuádruple y simple, el doble es igual al cuádruple pero con la mitad del largo. La tabla 3.2 muestra las dimensiones en milímetros de cada uno de los módulos:

<b>Tabla 3.2: dimensiones de los módulos de la plataforma liviana</b>			
	<b>Cuádruple</b>	<b>Doble</b>	<b>Simple</b>
Altura en milímetros	2134	2134	2134
Largo en milímetros	12192	6096	3048
Ancho en milímetros	3048	3048	3048
Distancia vertical conectores	1934	1934	1934
Distancia horizontal conectores	1524	1524	1524

*Figura 3.1: Módulo tipo Quadra Float, perteneciente a la empresa Flexi Float,*





*Figura 3.2: Modulo tipo a partir del que se diseñará el Simple*



Cabe señalar que el módulo simple está compuesto por dos partes constituyentes. La primera es el cubo modular que tiene las conexiones que permiten ensamblarlo con los otros módulos, la segunda es una camisa en la que se dispone el gato hidráulico y a través de la cual pasa la columna que conforma uno de los pilares de la plataforma. El traspaso de esfuerzo entre la columna y la camisa se da a través de dos anillos ubicados, uno en el extremo inferior del módulo y el otro en el extremo superior. Así, al momento de fijarse la posición de la columna, los anillos la comprimen lateralmente y permiten el traspaso de esfuerzos axiales y de corte en cada uno de ellos.

Los esquemas detallados de los módulos, donde se especifican los elementos que los constituyen se encuentran en el anexo B.

### **3.1.2.2. Columnas**

Las columnas son circulares y en sus bordes tienen viñetas que hacen posible el enganche entre estas y los gatos hidráulicos de los módulos simples. La tabla 3.3 muestra las dimensiones principales de la columna tipo que se utilizará para el prediseño. En la figura 3.3 se observa una

columna típica del mercado internacional. En el anexo B se especifica un esquema con las propiedades de la columna tipo.

<b>Tabla 3.3: Dimensiones principales de la columna tipo del prediseño de la estructura</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Largo mm</b>	<b>Diámetro mm</b>	<b>Espesor mm</b>
Columna	34000	1000	30

*Figura 3.3: Columna típica de una plataforma Jack Up*

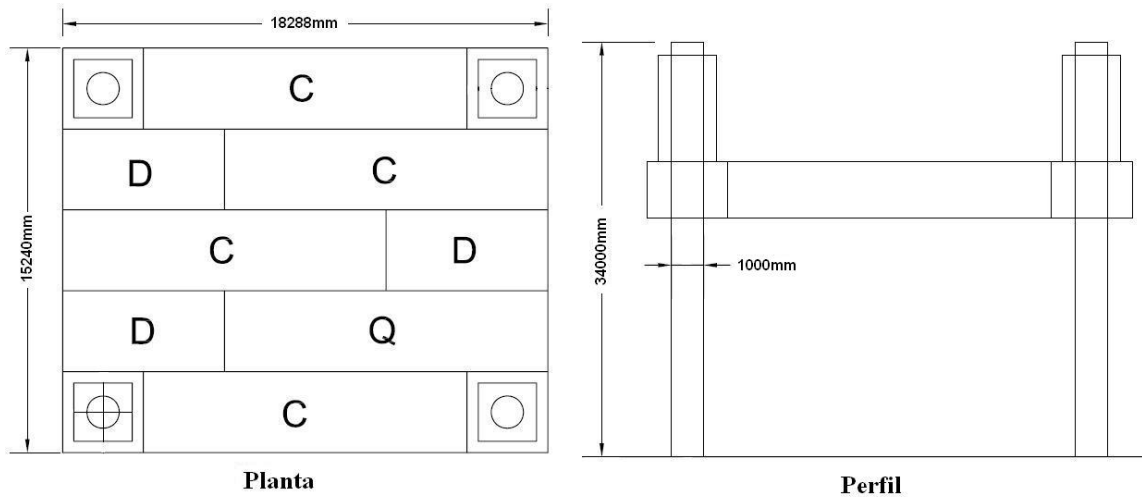


### 3.1.2.3. Mesa de la plataforma

La tabla 3.4 muestra el número de módulos y columnas que tiene la estructura prediseñada. En la figura 3.4 se observa un esquema básico de la plataforma. El esquema detallado se encuentra en el anexo B.

<b>Tabla 3.4: Módulos y columnas utilizadas en la plataforma liviana</b>				
	<b>Tipo de módulo</b>			<b>Columna</b>
	<b>Cuádruple</b>	<b>Doble</b>	<b>Simple</b>	
Cantidad	5	3	4	4

**Figura 3.4: Esquema básico de la estructura del prediseño de la plataforma**



Debido a que este trabajo se centra en el prediseño de la plataforma, no es necesario detallar un diseño para las conexiones que permiten el ensamblaje entre los módulos, así como de las conexiones de los perfiles internos del módulo. De la misma forma no se requiere especificar la conexión entre la plataforma y el suelo ni mucho menos definir la fundación para cada tipo de caso en que se puede utilizar esta maquinaria. Además, como la camisa que forma parte constituyente del módulo simple debe estar especialmente diseñada en función del gato hidráulico, el que no es posible diseñar en este trabajo, tampoco será prediseñada.

A continuación, la tabla 3.5 muestra un resumen de las dimensiones de los perfiles utilizados en los módulos cuádruple y doble. La tabla 3.6 muestra un resumen de las dimensiones de los perfiles utilizados en el módulo simple:

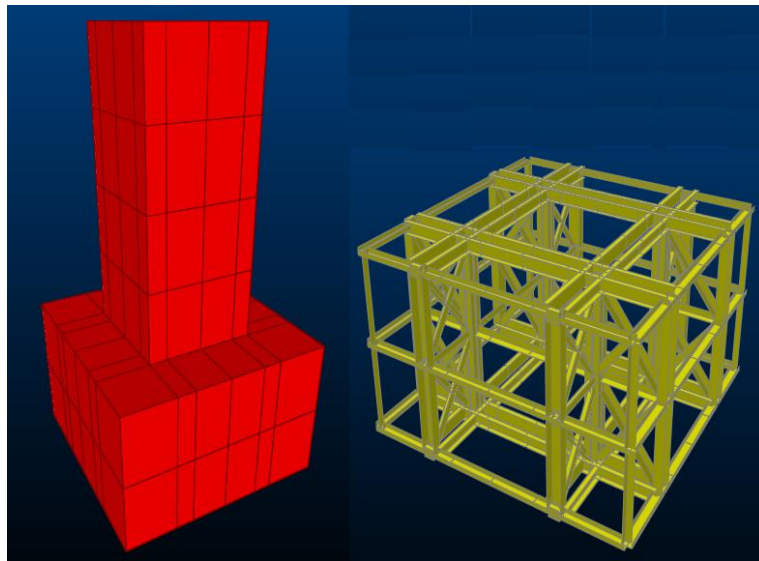
<b>Tabla 3.5: Dimensiones de los perfiles utilizados en los módulos cuádruple y simple</b>				
<b>Perfil</b>	<b>H mm</b>	<b>B mm</b>	<b>e mm</b>	<b>d mm</b>
TL6,5	65	150	6	20
IC10	100	275	6	150
C15	150	100	12	
C10	100	50	6	
L10	100	65	8	
L8A	80	80	8	
L8	80	80	6	
L6,5	65	65	6	

Tabla 3.6: Dimensiones de los perfiles utilizados en los módulos simple				
Perfil	H mm	B mm	e mm	d mm
IC15A	150	250	6	150
IC15B	150	250	8	150
C15B	150	100	6	
C10	100	50	6	
L8A	80	80	10	
L8B	80	80	8	
L6,5A	65	65	8	
L6,5	65	65	6	

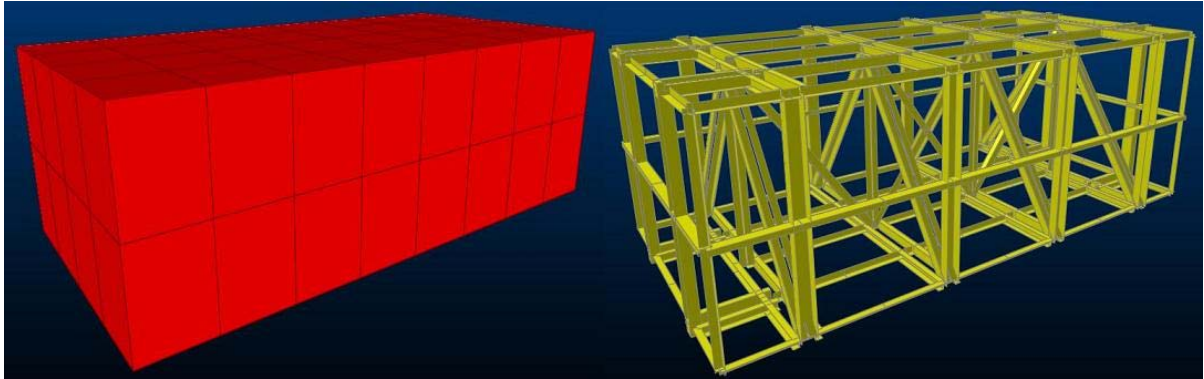
### 3.1.3. Definición de los modelos estructurales computacionales.

Lo primero fue modelar en SAP2000 cada uno de los módulos por separado. Como se señaló anteriormente, el modelo de la camisa como parte constituyente del módulo simple no es relevante y sólo se requiere que cumpla la función de traspasar las cargas a la parte inferior del módulo. Por esta razón, al igual que el resto de los módulos, fue modelada con perfiles representados por elementos frames rodeados de cubiertas de acero representadas por elementos shell. En las figuras 3.5, 3.6 y 3.7 se observan los modelos de cada uno de los módulos por separados.

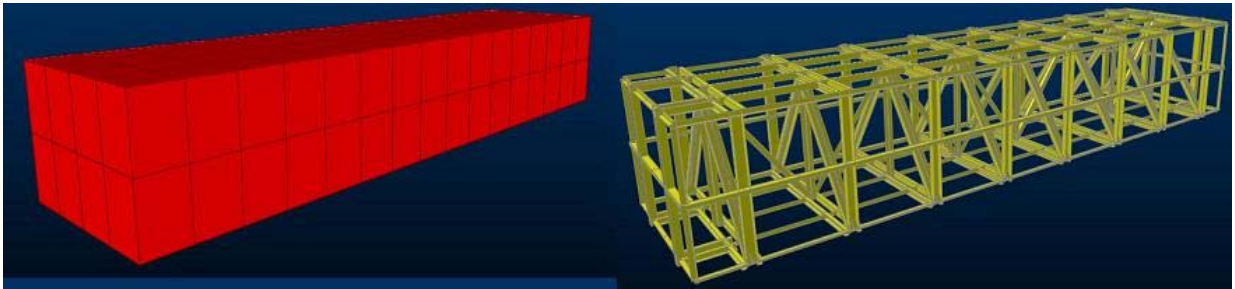
*Figura 3.5: Modelo módulo simple*



*Figura 3.6: Modelo módulo doble*



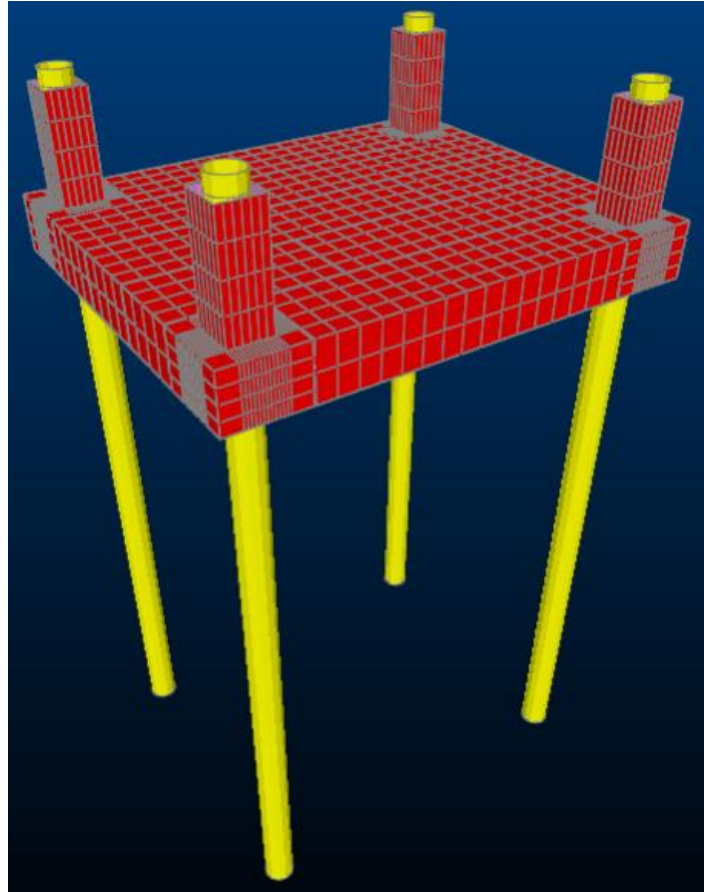
*Figura 3.7: Modelo módulo cuádruple*



Para modelar la plataforma se combinaron los módulos de acuerdo a la estructuración señalada en la sección anterior. La conexión entre los módulos fue representada por una barra empotrada en un extremo y rotulada en el otro, de todas formas como no se diseñará la conexión, sólo es necesario que esta barra traspase esfuerzos entre los módulos con una disposición en que la realidad sea representada de la mejor forma.

Por otro lado, para modelar la conexión entre las columnas y la mesa de la plataforma se utilizaron elementos que traspasan corte y esfuerzo axial, como las barras rígidas en gran número, empotradas en el extremo adyacente al módulo y rotuladas en el extremo contrario. Esto con el fin de distribuir la carga de la forma más homogénea y parecida posible a un anillo. En la figura 3.8 se observa el modelo de la plataforma completa.

*Figura 3.8: Modelo de la plataforma liviana*



## **3.2. Plataforma Semipesada**

### **3.2.1. Requerimientos generales**

De acuerdo a las necesidades planteadas en secciones anteriores, las características básicas con que contará la plataforma semipesada se muestran en la tabla 3.7:

Tabla 3.7: Requerimientos mínimos de la plataforma semipesada	
Largo	33m
Ancho	24m
Profundidad del mar	36m
Capacidad de Sobrecarga total	2350 Ton
Capacidad de Sobrecarga	3Ton/m <sup>2</sup>
Capacidad Grúa	150 Ton

Al igual que la plataforma liviana, es necesario considerar que en el proceso de armado en el mar y de traslado hacia la ubicación de utilización la plataforma no cuenta con el soporte de sus patas, por lo tanto es necesario que el modelo desarrollado no exceda el peso máximo que le permita mantenerse a flote durante estos procesos.

### 3.2.2. Definición de la estructura

Bajo el mismo análisis que el realizado para la plataforma liviana, el prediseño de la plataforma semipesada se hará en base a módulos.

#### 3.2.2.1. Módulos

Los módulos utilizados para esta plataforma tienen la misma nomenclatura que los de la plataforma liviana. Al mismo tiempo que sus dimensiones y apariencia externa es la misma y su estructuración interna también. Sin embargo, debido a que estarán sometidos a solicitudes mayores, los perfiles utilizados son distintos. La tabla 3.8 muestra las dimensiones en milímetros de cada uno de los módulos:

<b>Tabla 3.8: Dimensiones de los módulos de la plataforma semipesada</b>			
	<b>Cuádruple</b>	<b>Doble</b>	<b>Simple</b>
Altura en milímetros	2134	2134	2134
Largo en milímetros	12192	6096	3048
Ancho en milímetros	3048	3048	3048
Distancia vertical conectores	1934	1934	1934
Distancia horizontal conectores	1524	1524	1524

Las consideraciones hechas para el modulo simple y en general para todos los módulos en la plataforma liviana, son aplicables a la plataforma semipesada. Los esquemas detallados de los módulos, donde se especifican los elementos que los constituyen se encuentran en el anexo C.

### 3.2.2.2. Columnas

Las columnas de la plataforma semipesada sólo varían de las columnas de la plataforma liviana en sus dimensiones principales. Además, en este caso se utilizarán dos tipos de columnas distintas. La tabla 3.9 muestra las dimensiones principales de la columna tipo utilizada en el prediseño. En el anexo C se especifica un esquema con las propiedades de la columna tipo.

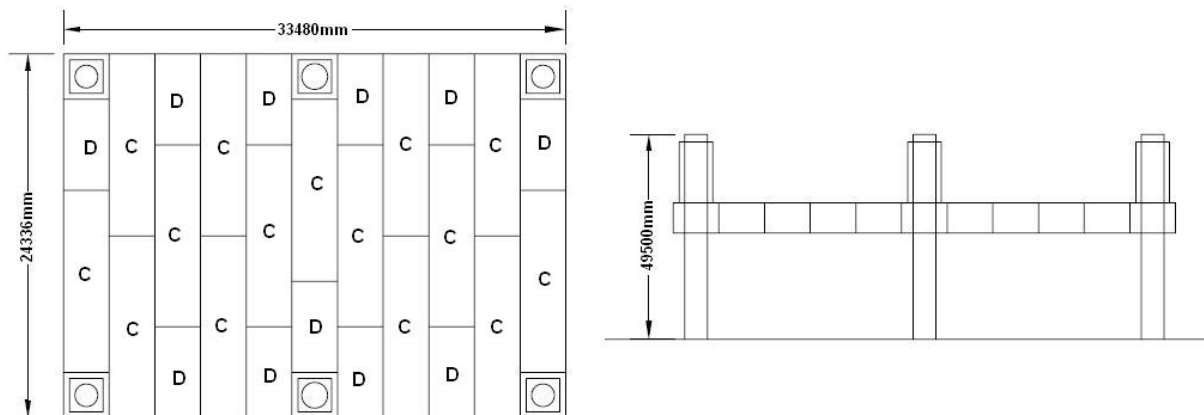
Elemento	Largo mm	Diámetro mm	Espesor mm
Columna A	49500	1700	40
Columna B	49500	1500	40

### 3.2.2.3. Mesa de la plataforma

La tabla 3.10 muestra el número de módulos y columnas que tiene la estructura prediseñada. En la figura 3.9 se observa un esquema básico de la plataforma. El esquema detallado se encuentra en el anexo C.

	Tipo de módulo			Columna
	Cuádruple	Doble	Simple	
Cantidad	15	11	6	6

*Figura 3.9: Esquema básico de la estructura del prediseño de la plataforma*





Todas las consideraciones hechas para el caso de la mesa de la plataforma liviana son validas para la plataforma semipesada.

A continuación, en la tabla 3.11 se muestra un resumen de las dimensiones de los perfiles utilizados en los módulos cuádruple y doble. La tabla 3.12 muestra un resumen de las dimensiones de los perfiles utilizados en el módulo simple:

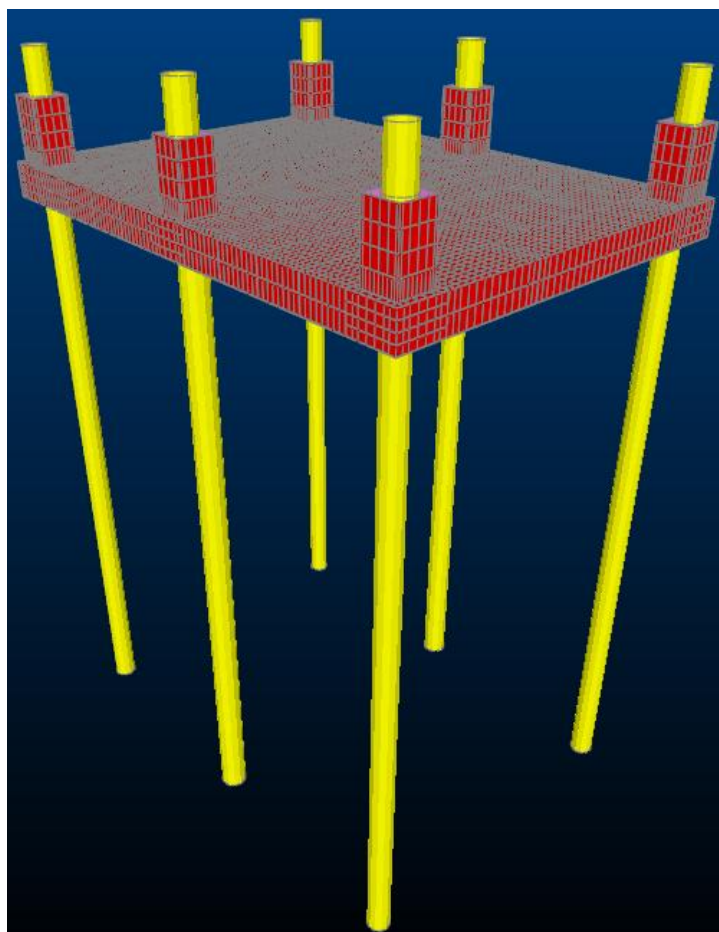
<b>Tabla 3.11: Dimensiones de los perfiles utilizados en los módulos cuádruple y simple</b>				
<b>Perfil</b>	<b>H mm</b>	<b>B mm</b>	<b>e mm</b>	<b>d mm</b>
IC17,5	175	325	10	175
IC15A	150	100	12	0
IC15B	150	325	12	175
IC10	100	275	8	175
IC10B	100	275	6	175
□ L15	150	100	10	0
TL6,5	65	175	6	45
XL13,6	136	136	6	6
C17,5	175	175	14	
C17,5B	175	50	12	
C10	100	50	8	
C10B	100	50	6	
L10	100	65	8	
L6,5	65	65	6	

<b>Tabla 3.12: Dimensiones de los perfiles utilizados en los módulos simple</b>				
<b>Perfil</b>	<b>H mm</b>	<b>B mm</b>	<b>e mm</b>	<b>d mm</b>
IC25A	250	275	14	175
IC25B	250	275	12	175
IC15A	150	275	10	175
IC15B	150	275	8	175
□ L10	100	100	8	0
C17,5A	175	150	16	
C17,5B	175	50	6	
C10	100	50	8	
L8A	80	80	10	
L8B	80	80	12	
L6,5	65	65	10	

### 3.2.3. Definición de los modelos estructurales computacionales.

Las consideraciones para el modelo de esta plataforma son las mismas que para la plataforma liviana, por ende los esquemas de los módulos individuales son parecidos a los anteriores y no es necesario esquematizarlos nuevamente, la única diferencia sustancial se presenta en el modulo simple, donde, con el fin de evitar alteraciones en los resultados finales debido a deformaciones en la camisa, que en la realidad no existen, se agregaron algunas bielas entre las barras que dan forma al anillo superior e inferior, de esta forma se evita la deformación excesiva de la plataforma debido a la gravedad. La estructuración de los módulos en la mesa de la plataforma es la que se señala en el esquema de la sección anterior. La figura 3.10 muestra una imagen del modelo de la plataforma completa.

*Figura 3.10: Modelo módulo simple*



### 3.3. Definición de las condiciones de diseño

Se utilizarán métodos de diseño elástico. El diseño de las plataformas se centrará en tres estados de uso distintos para cada plataforma, que abarcan a grandes rasgos las condiciones en que pueden ser utilizados estos equipos:

**Estado de transporte:** Se refiere al momento en que la plataforma es trasladada desde su lugar de ensamble en la costa del mar hasta su lugar de ubicación para ser utilizada.

**Estado de levante:** Se refiere al momento en que la plataforma está ubicada en el sitio de utilización y en proceso de levantamiento para ser usada.

**Estado de operación:** Se refiere al momento en que la plataforma esta siendo utilizada en forma normal. En este estado la mesa de la plataforma debe estar al menos 3 metros por sobre la altura máxima alcanzada por la ola de diseño.

**Estado de emergencia:** Se refiere al momento en que la plataforma debe dejar de operar normalmente a causa de las condiciones ambientales que se tornan extremas. En este estado la mesa de la plataforma debe estar al menos 3 metros por sobre la altura máxima alcanzada por la ola de diseño.

### 3.4. Definición de las condiciones ambientales

Para el prediseño de ambas plataformas es necesario considerar los efectos debido a la meteorología y la hidrografía de los lugares donde serán utilizadas. Sin embargo, como esta maquinaria presenta la posibilidad de ser usada en diversas localidades, se consideraran condiciones generales que se especifican a continuación.

### **3.4.1. Meteorología**

#### **3.4.1.1. Máxima presión del viento**

Dependiendo de las alturas de los distintos diseños de las plataformas, las presiones máximas a considerar vendrán dadas por los mínimos que establece la Norma chilena de Cálculo de la acción del viento sobre construcciones, NCh432 Of71.

#### **3.4.1.2. Temperaturas**

Para efectos de cálculos de las estructuras, se considerarán variaciones de la temperatura ambiental y del mar de  $\pm 30^{\circ}\text{C}$ .

### **3.4.2. Hidrografía**

#### **3.4.2.1. Olas de Diseño**

Se trabajará con 3 tipos de olas que se detallan a continuación:

**Ola de transporte:** Es la ola que ejerce presión sobre la plataforma al momento de remolcarla desde el lugar de armado en la costa hasta su punto de utilización. Su valor se impone por quien diseña la estructura.

**Ola de operación:** Es la ola máxima con que es posible utilizar las plataformas en condiciones de operatividad. Tiene referencia con las condiciones de operatividad de las plataformas del mercado internacional y por lo tanto es impuesta por quien diseña la estructura. Es aplicable al estado de operación y de levante.

**Ola de emergencia:** Es la ola de condiciones extremas o de supervivencia en que la plataforma puede mantenerse en pie sin riesgo de colapso pero sin ser utilizada normalmente. En este caso su valor fue extraído de un informe del oleaje de diseño en Constitución. Estos datos se entregan en la tabla 3.13.

<b>Tabla 3.13: Olas de diseño</b>		
<b>Ola</b>	<b>Altura en metros</b>	<b>Período en segundos</b>
Operación y transporte	3	12
Emergencia	6	19

### 3.4.2.2. Corrientes

Para la determinación de la velocidad de corrientes se tendrá como referencia las mediciones de Intensidades de corrientes realizadas en la Bahía San Vicente, Talcahuano, VIII Región. Además para efectos de diseño, se calculará la fuerza solicitante, utilizando el doble del mayor valor de magnitud de velocidad aplicándolo a toda la sección longitudinal solicitada de la columna:

**Intensidad de corriente de diseño:** 0,514m/s

### 3.4.2.3. Mareas

El efecto de la marea será considerado, en ambas plataformas, en conjunto con la máxima profundidad de utilización y por ende se supone que el nivel máximo del mar a pleamar máxima será siempre igual o menor a la profundidad máxima que se considera en ambos diseños, estas condiciones son detalladas en la tabla 3.14:

<b>Tabla 3.14: Nivel máximo del mar a pleamar máxima</b>	
<b>Plataforma</b>	<b>Nivel en metros</b>
Liviana	20
Semipesada	36

## 3.5. Definición de los modelos y estados de cargas

Ambas plataformas serán diseñadas para las siguientes solicitaciones:

- Cargas permanentes

- Sobrecargas de Uso
- Sobrecargas Medioambientales
- Efectos de la Temperatura

Estas solicitaciones actuarán en los siguientes estados de uso de las plataformas:

- Estado de transporte
- Estado de operación
- Estado de emergencia

Además en el prediseño se considerarán las profundidades de análisis que se detallan en la siguiente tabla:

<b>Tabla 3.15: Profundidades de diseño</b>		
<b>Profundidad d</b>	<b>Plataforma Liviana en metros</b>	<b>Plataforma Semipesada en metros</b>
d1	10	15
d2	15	25
d3	20	36

Todos los cálculos de las fuerzas actuantes en la plataforma liviana y semipesada se especifican en el anexo D y E respectivamente. A continuación se detalla el origen de cada fuerza y sus formas de acción en la estructura.

### **3.5.1. Cargas Permanentes**

#### **3.5.1.1. Cargas de Peso Propio**

Las cargas de peso propio consisten en el peso de todos los elementos que conforman las estructuras, incluyendo instalaciones o equipos que estén unidos permanentemente a las plataformas y formen parte de ellas.

### 3.5.1.2.Cargas Hidrostáticas

Debido a que las columnas son cilíndricas y huecas, las fuerzas hidrostáticas debidas a la presión del agua y variaciones del nivel del mar se anulan, y en consecuencia, no son consideradas para el diseño. Además, en esta sección no se consideran las acciones debido al oleaje y las corrientes, pues se consideran en las cargas debidas al medioambiente.

### 3.5.2. Sobrecargas de Uso

#### 3.5.2.1.Cargas Uniformemente repartidas

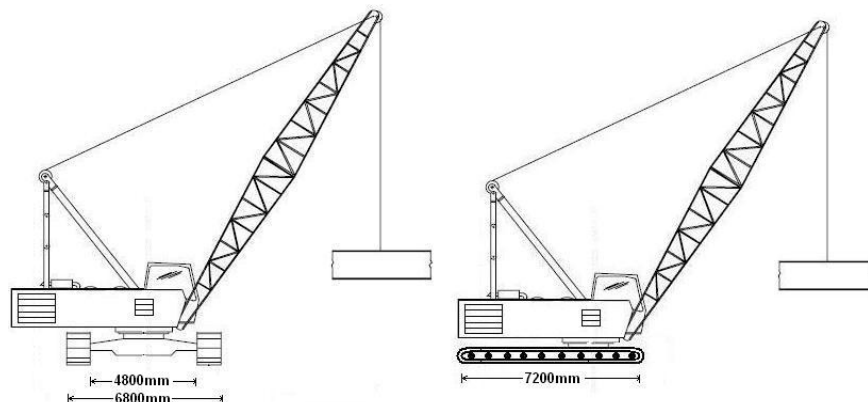
Las plataformas serán diseñadas para operar con la cubierta soportando las cargas de almacenamiento máxima uniformemente repartida que se especifican en la tabla 3.16:

<b>Plataforma</b>	<b>Sobrecarga en Ton/m<sup>2</sup></b>
Liviana	1
Semipesada	3

#### 3.5.2.2.Cargas de Grúa

Para el efecto de la grúa en la plataforma semipesada se considerará una grúa tipo con capacidad de 160 Toneladas y las características que se muestran en la figura3.11.

*Figura 3.11: Grúa tipo utilizada*



### **3.5.3. Cargas Medioambientales**

#### **3.5.3.1. Acciones del Viento**

La acción del viento será calculada de acuerdo a lo dispuesto en la norma chilena de cálculo de la acción del viento sobre las construcciones, NCh 432 Of1971.

#### **3.5.3.2. Acción del Oleaje**

La acción del oleaje en las columnas soportantes de la plataforma, se compone de tres fuerzas: la fuerza de roce, la fuerza de inercia y la fuerza de levante. Estas tres acciones serán consideradas de acuerdo a lo que estipula el *Shore Protection Manual, Volume II, Coastal Engineering Research Center, US Army Corps of Engineering*.

La interacción entre el oleaje y la mesa de la plataforma se considerará de acuerdo a los métodos y ecuaciones recomendadas por el Technical Standards and Commentaries for Ports and Harbour Facilities in Japan, Part II, 5.2.2, Wave Force under Wave Crest.

#### **3.5.3.3. Acción de las Corrientes**

La acción de las corrientes sobre un cuerpo sumergido a medias o completamente, que en este caso son las columnas, puede ser calculada mediante la ecuación de Morison que para este caso se traduce en la siguiente expresión:

$$\vec{f}_C^c = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho_0 \cdot A \cdot |U_C - U| \cdot (U_C - U) \quad (\text{Ecc. 3.1})$$

#### **3.5.3.4. Acción de la Nieve**

De acuerdo a lo que establece la norma chilena de Sobrecargas de nieve, NCh431 OF1977, en construcciones dispuestas en el litoral, no es necesario considerar este tipo de cargas.



### 3.5.3.5. Acción del Hielo

En las costas chilenas existe presencia de hielo solamente en las cercanías de la antártica. Por esta razón, no es necesario considerar la acción del hielo sobre esta estructura.

### 3.5.3.6. Acción sísmica

La acción sísmica será determinada de acuerdo a lo establecido por la Norma chilena de Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales, NCh 2369 Of 2003.

### 3.5.3.7. Esfuerzos y deformaciones debido a la Temperatura

En el diseño se tomarán en cuenta los efectos generados por la variación de la temperatura considerando un coeficiente de dilatación térmica  $\alpha$  del acero de:

$$\alpha = \frac{0.000012}{^{\circ}C}$$

### 3.5.4. Combinaciones de cargas

Las siguientes expresiones representan varias combinaciones de cargas y de fuerzas a las cuales estarán sometidas las estructuras:

- **Comb1:**  $1,2 \cdot PP_p + SC_C + SC_V + O + 0,25 \cdot SC_A$
- **Comb2:**  $1,2 \cdot PP_p + 1,2 PP_G + SC_C + SC_V + O + 0,25 \cdot (SC_A + SC_G)$
- **Comb3:**  $1,2 \cdot PP_p + 0,5 \cdot (SC_C + SC_V) + 0,8 \cdot O + 1,6 \cdot SC_A$
- **Comb4:**  $1,2 \cdot PP_p + 1,2 PP_G + 0,5 \cdot (SC_C + SC_V + SC_G) + 0,8 \cdot O + 1,6 \cdot SC_A$
- **Comb5:**  $1,2 \cdot PP_p + 1,2 PP_G + 0,5 \cdot (SC_C + SC_V + SC_A) + 0,8 \cdot O + 1,6 \cdot SC_G$
- **Comb6:**  $1,2 \cdot PP_p + 1,3 \cdot (SC_C + SC_V + O) + 0,5 \cdot SC_A$
- **Comb7:**  $1,2 \cdot PP_p + 1,2 \cdot PP_G + 1,3 \cdot (SC_C + SC_V + O) + 0,5 \cdot (SC_A + SC_G)$
- **Comb8:**  $1,2 \cdot PP_p + SC_C + SC_V + O + 0,25 \cdot SC_A + 1,1 \cdot S$

- **Comb9:**  $1,2 \cdot PP_p + 1,2 \cdot PP_G + SC_C + SC_V + O + 0,25 \cdot (SC_A + SC_G) + 1,1 \cdot S$

### **3.6. Definición del diseño sísmico**

Las plataformas se diseñarán para resistir esfuerzos sísmicos. Por esta razón, deben ser capaces de absorber una gran cantidad de energía más allá del rango elástico, antes que se produzca su ruptura. Deben ser dúctiles, a fin de prevenir fallas frágiles o inestabilidades que produzcan el colapso de las estructuras. El diseño de estas se centrará sólo en el estado de Operación, pues el estado de Emergencia y de Levante son estados eventuales.

#### **3.6.1. Método de diseño**

Para el diseño sísmico de las plataformas se considerará un análisis elástico dinámico que incluye análisis del tipo modal espectral. Dicho análisis será lineal y se realizará con modelos tridimensionales.

#### **3.6.2. Punto de Aplicación de las Cargas Sísmicas**

Las cargas sísmicas se supondrán que actúan en los centros de masas de los respectivos elementos.

#### **3.6.3. Dirección de las Cargas Sísmicas**

Para efectos del diseño se supondrá que las cargas debido al sismo poseen solamente componente horizontal. A demás las estructuras se diseñarán suponiendo que las cargas sísmicas actúan a lo menos en 2 direcciones perpendiculares entre ellas y considerando el 100% de la sollicitación sísmica que actúa en una dirección más los esfuerzos obtenidos de considerar el 30% de la sollicitación sísmica actuando en la dirección ortogonal a la anterior, y viceversa.

### 3.6.4. Distribución del Corte Sísmico Total

El corte sísmico total en cualquier plano horizontal será distribuido entre los elementos resistentes en proporción a sus rigideces.

### 3.6.5. Definición de los parámetros sísmicos

De acuerdo a la categorización que establece la Norma chilena de Diseño Sísmico de estructuras e instalaciones industriales, NCh 2369 Of 2003 y a la importancia de las estructuras a diseñar, ambas son de tipo C2. Los parámetros principales para el diseño sísmico se muestran en la tabla 3.17.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
I	1,0
Zona	3
Tipo de suelo	II y III
Ao	0,4 g
$\xi$	0,02
R	3
Cmax	0,4

El análisis sísmico se realizará en dos tipos de suelo distintos. En la tabla 3.18 se muestran los parámetros que se desprenden de los distintos suelos.

<b>Parámetro</b>	<b>Suelo II</b>	<b>Suelo III</b>
T <sub>v</sub>	0,36 segundos	0,62 segundos
n	1,33	1,8

### 3.7. Otras consideraciones del diseño

#### 3.7.1. Protección Anticorrosiva

Debido a que este tipo de estructuras se utilizan en ambientes poco favorables en términos de la corrosión a que están afectos, es necesario cubrirlos con pinturas anticorrosivas. Además, todos los elementos de acero deben diseñarse considerando una tolerancia de corrosión en el espesor de al menos 2 milímetros. La tabla 3.19 muestra los espesores mínimos considerables:

<b>Etapa</b>	<b>Espesor mínimo en milímetros</b>
Diseño	4
Construcción	6

#### 3.7.2. Deformaciones Admisibles

De acuerdo a lo que estipula la Norma chilena de Diseño Sísmico de estructuras e instalaciones industriales, NCh 2369 Of 2003, cada vez que la deformación de las columnas sobrepase el límite  $0,015h$ , donde  $h$  es la altura de la columna, el diseño deberá estipular el efecto P-delta.

Específicamente en los casos de Levante y Emergencia, por ser estados donde la plataforma no requiere operatividad, se permitirá una deformación global de 70cm en las columnas, en el plano de la mesa de la plataforma. Lo mismo ocurre para las deformaciones debido a la temperatura. Para el estado de Operación se permitirá una deformación máxima de 50cm.

Además, la mesa de la plataforma en ningún caso podrá tener deformaciones mayores a  $L/700$ , donde  $L$  es el largo del lado de la mesa

### **3.7.3. Código de Diseño**

Las partes que componen la estructura de acero serán diseñadas según el Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings dated March 9, 2005.

### **3.7.4. Calidad del Acero**

Para el prediseño se considerará acero de calidad A 42-27 ES en general para todos los elementos estructurales.

## **4. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LOS MODELOS**

### **4.1. Plataforma Liviana**

#### **4.1.1. Consideraciones para el análisis**

El análisis de esta plataforma se centrará, de acuerdo a los cálculos del anexo D, en la profundidad d3, pues es en este caso donde se generan los mayores esfuerzos sobre la plataforma. Además, debido a que el oleaje máximo de transporte es el mismo que el de levante y operación, el prediseño se centrará en las condiciones de utilización existentes en estos dos últimos estados, más las condiciones existentes en el estado de emergencia.

#### **4.1.2. Análisis de los elementos estructurales**

De la modelación computacional es posible obtener los esfuerzos máximos en cada uno de los perfiles utilizados en la estructuración de la plataforma. Con estos datos se procede a calcular y verificar el diseño de los perfiles para así obtener sus factores de utilización, cálculos que se encuentran detallados en el anexo F. A continuación la tabla 4.1 muestra un resumen de los factores de utilización de cada uno de los perfiles utilizados en los módulos cuádruple y doble, la tabla 4.2 muestra los factores de utilización de los módulos simple y las columnas.

Para efectos de este prediseño, el factor de utilización límite es 1,05. Luego, de acuerdo a las tablas, todos los elementos están por debajo de este límite y en consecuencia cumplen con los requisitos de resistencia.

<b>Elemento</b>	<b>Factor de utilización</b>
AC	0,73
AMR	0,64
EH	0,37
EV	0,11
MI	0,14
ML	0,813
MS	0,4
PCMR	0,1
PLMR	0,74
TCT	0,42
VIMR	0,78
VSMR	0,79

<b>Elemento</b>	<b>Factor de utilización</b>
AI	0,87
EH	0,37
EV	0,11
ML	0,55
PL	0,62
PMC	0,56
TCC	0,61
VI	0,8
VS	0,67
COLUMNA	1,0

### **4.1.3. Análisis de deformaciones**

En las figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 se observan las deformaciones más importantes obtenidas mediante los modelos computacionales para los estados de Levante, Operación, Emergencia y el efecto de la Temperatura respectivamente. La tabla 4.3 muestra un resumen de estas deformaciones.

Figura 4.1: Deformaciones en estado de Levante

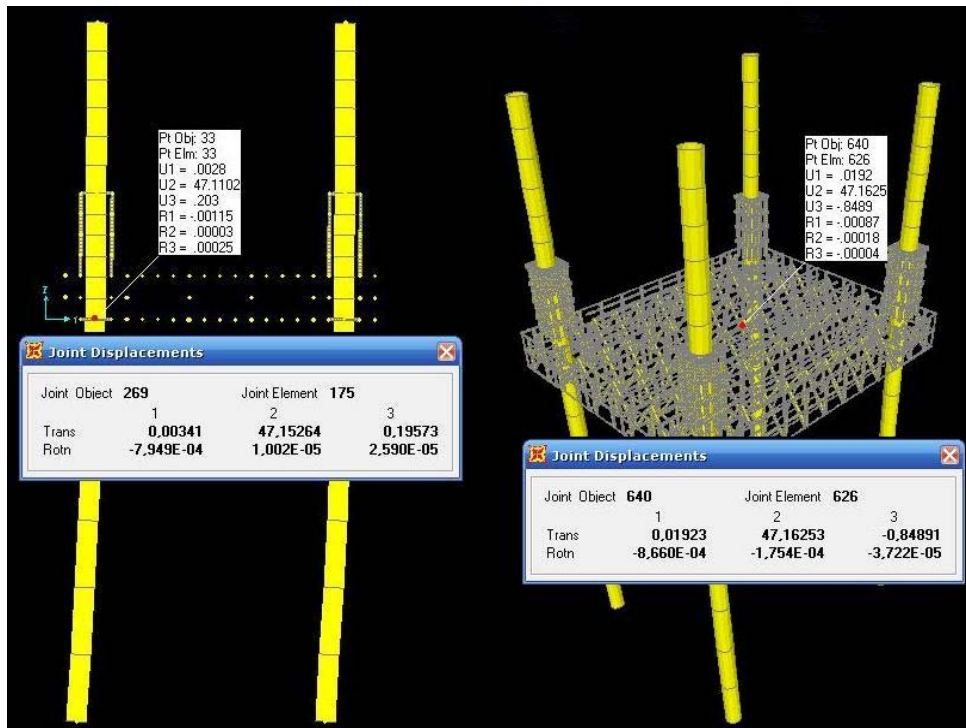


Figura 4.2: Deformaciones en estado de Operación

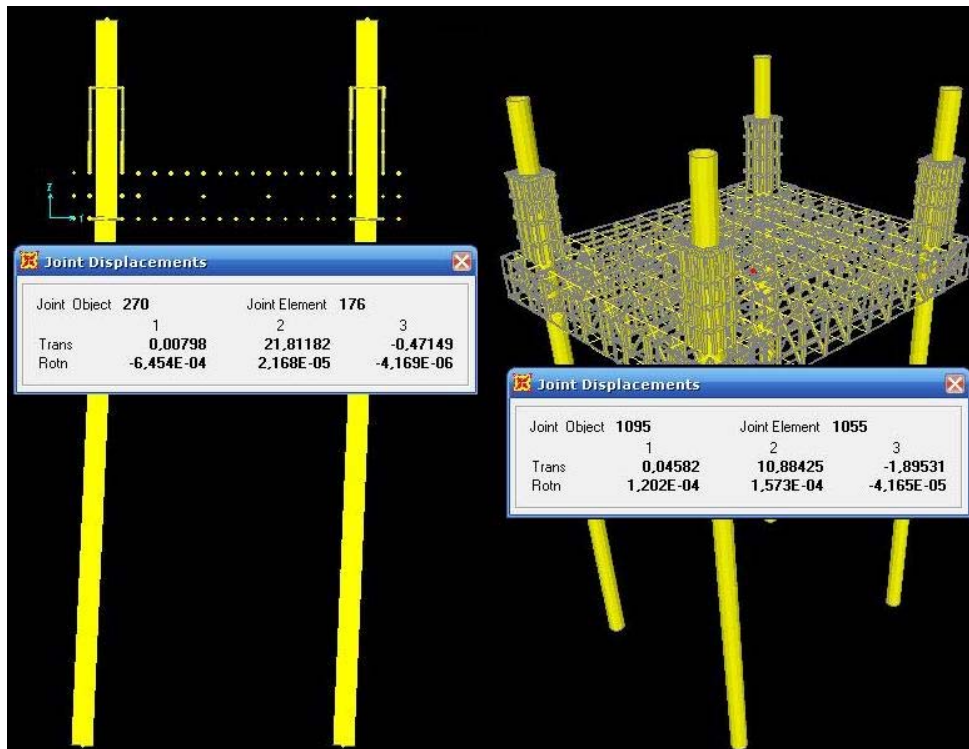




Figura 4.3: Deformaciones en estado de Emergencia

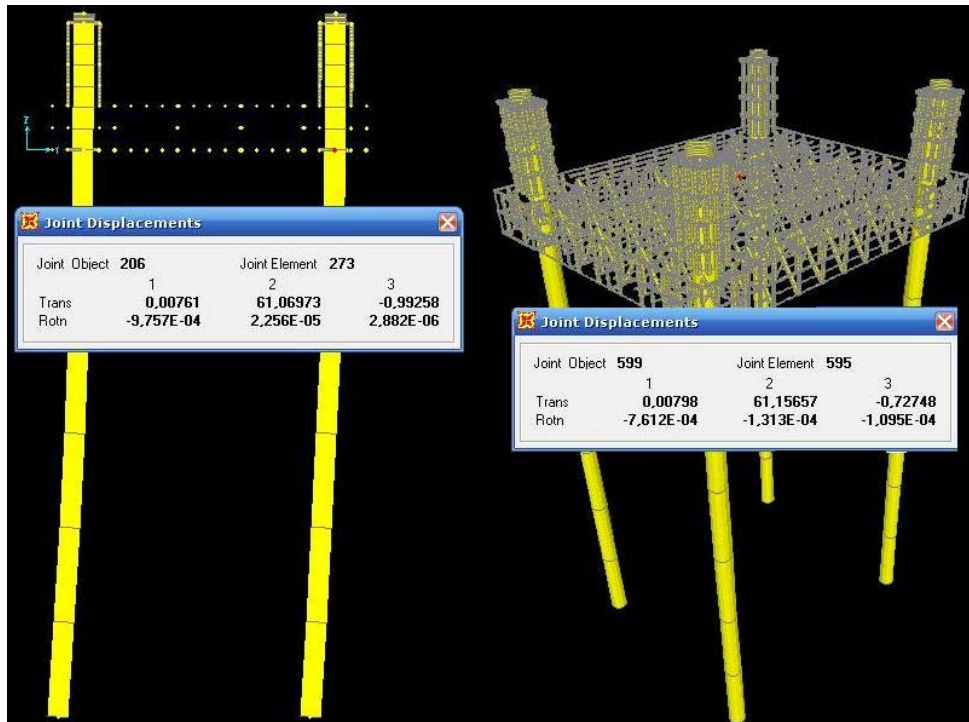
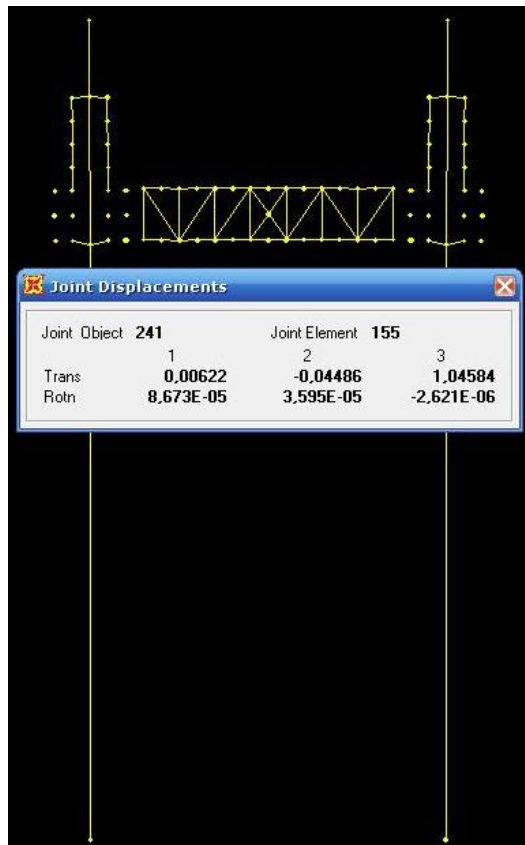


Figura 4.4: Deformaciones debido a la temperatura



<b>Tabla 4.3: Resumen de deformaciones plataforma liviana</b>				
<b>Estado</b>				
<b>Eje</b>	<b>Levante</b>	<b>Operación</b>	<b>Emergencia</b>	<b>Temperatura</b>
<b>Y</b>	47cm	21,81cm	61,07cm	0,04cm
<b>Z</b>	0,85cm	1,9cm	0,73cm	1,04cm

Como se aprecia en la tabla anterior, las deformaciones mayores se dan en el sentido del eje Y en la plataforma liviana.

De acuerdo a los límites fijados en el capítulo anterior, las deformaciones de las columnas están todas dentro del rango permitido. Por otro lado, la deformación máxima permitida de la mesa de la plataforma es 2,17cm. Luego, las deformaciones de la plataforma también cumplen con lo requerido.

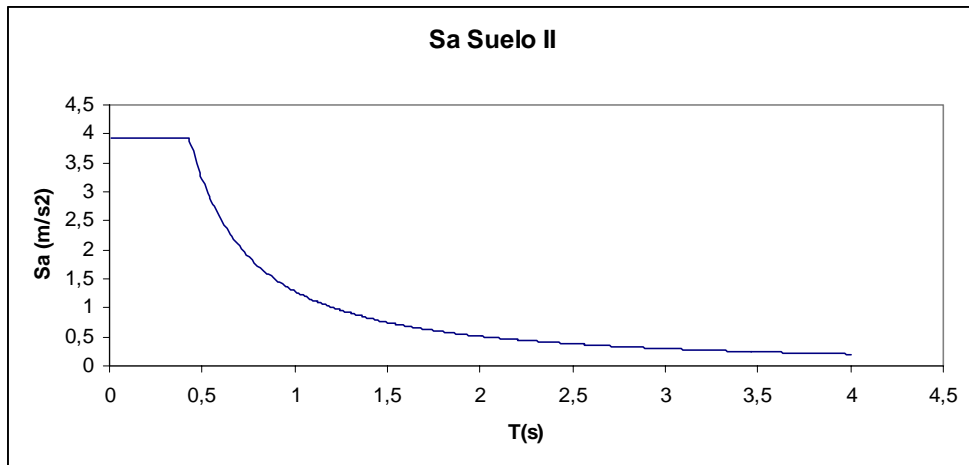
#### **4.1.4. Análisis sísmico**

El análisis sísmico realizado da cuenta de la existencia de 3 períodos fundamentales de vibración en esta estructura, donde se alcanza prácticamente el 100% de la participación de la masa. Los valores de dichos períodos se muestran en la tabla 4.4. Las figuras 4.5 y 4.6 muestran el espectro de diseño generado para este análisis, para cada uno de los tipos de suelo considerados.

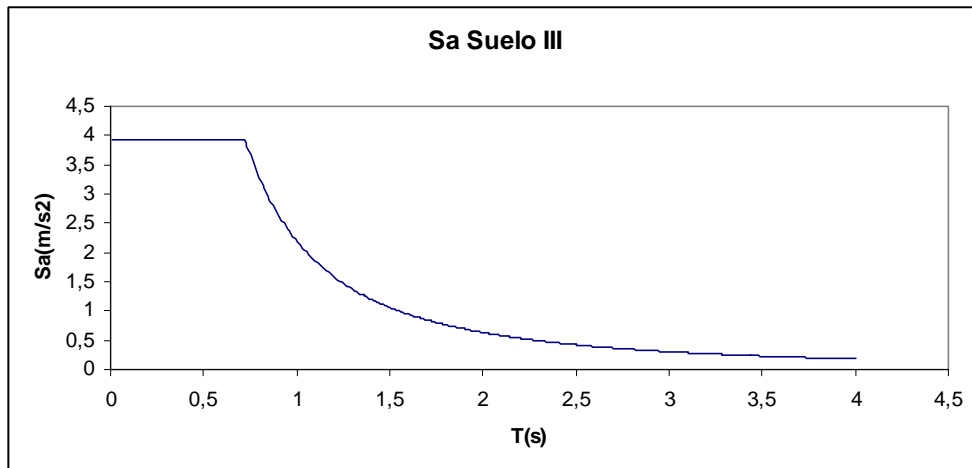
<b>Tabla 4.4: Períodos fundamentales de vibración de la plataforma liviana</b>			
<b>Modo</b>	<b>Período en segundos</b>	<b>Porcentaje masa en X</b>	<b>Porcentaje masa en Y</b>
1	2,98	0	0,99
2	2,95	0,99	0,99
3	2,47	0,99	0,99

El espectro de diseño, en ambos casos, no necesita ser mayor que 3,92m/s<sup>2</sup>. El mayor esfuerzo de corte basal se da en la dirección Y de análisis y de la comparación de este con el esfuerzo de corte mínimo, se desprende que no es necesario aplicar factores de corrección en las deformaciones o en los esfuerzos sísmicos. Estos valores se muestran en la tabla 4.5.

**Figura 4.5: Espectro de diseño para el suelo II**



**Figura 4.6: Espectro de diseño para el suelo III**



**Tabla 4.5: Valores límites**

Límite	Valor
$I \cdot C_{max} \cdot g$	3,92m/s <sup>2</sup>
Q <sub>min</sub>	23,012 Ton
Q <sub>o</sub>	36,093 Ton

## 4.2. Plataforma semipesada

### 4.2.1. Consideraciones para el análisis

El análisis de esta plataforma se centrará al igual que la plataforma liviana y de acuerdo a los cálculos del anexo E, en la profundidad d3, pues es en este caso donde se generan los mayores esfuerzos sobre la plataforma. Además, por las mismas razones que en la plataforma anterior, el prediseño se centrará en las condiciones de utilización existentes en estos dos últimos estados, más las condiciones existentes en el estado de emergencia.

### 4.2.2. Análisis de los elementos estructurales

En este caso, los esfuerzos también se obtienen de la modelación computacional. Los cálculos se detallan en el anexo G. A continuación la tabla 4.6 muestra un resumen de los factores de utilización de cada uno de los perfiles utilizados en los módulos cuádruple y doble, la tabla 4.7 muestra los factores de utilización de los módulos simple y las columnas.

<b>Elemento</b>	<b>Factor de utilización</b>
AC	0,61
AMR	0,9
EH	0,95
EV	0,31
MIH	0,88
MIV	0,33
ML	0,65
MSH	0,71
MSV	0,85
PCMR	0,63
PLMR	0,89
TCTI	0,9
TCTS	0,87
VIMR	0,7
VSMR	0,89

<b>Tabla 4.7: Factores de utilización, módulos simple y columnas</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Factor de utilización</b>
AI	0,69
EHI	0,78
EHS	0,71
EV	0,17
ML	0,29
PLA	0,54
PL	1,01
PMCA	0,48
PMC	0,81
TCCA	0,17
TCC	0,42
TCIA	0,54
TCI	0,29
TCSA	0,56
TCS	0,22
VI	0,54
VS	0,92
COLUMNA A	0,91
COLUMNA B	0,75

El factor de utilización límite, en este caso también será 1,05. Luego, de acuerdo a las tablas anteriores, todos los elementos cumplen con los requisitos de resistencia.

### **4.2.3. Análisis de deformaciones**

Al igual que en la plataforma liviana, en las figuras 4.7, 4.8, 4.9 y 4.10 se observan las deformaciones más importantes obtenidas mediante los modelos computacionales para los estados de Levante, Operación, Emergencia y el efecto de la Temperatura respectivamente. La tabla 4.8 muestra un resumen de estas deformaciones.

De acuerdo a la tabla, las deformaciones mayores se dan en el sentido del eje X en la plataforma liviana, salvo para el caso de la temperatura.

Figura 4.7: Deformaciones en estado de Levante

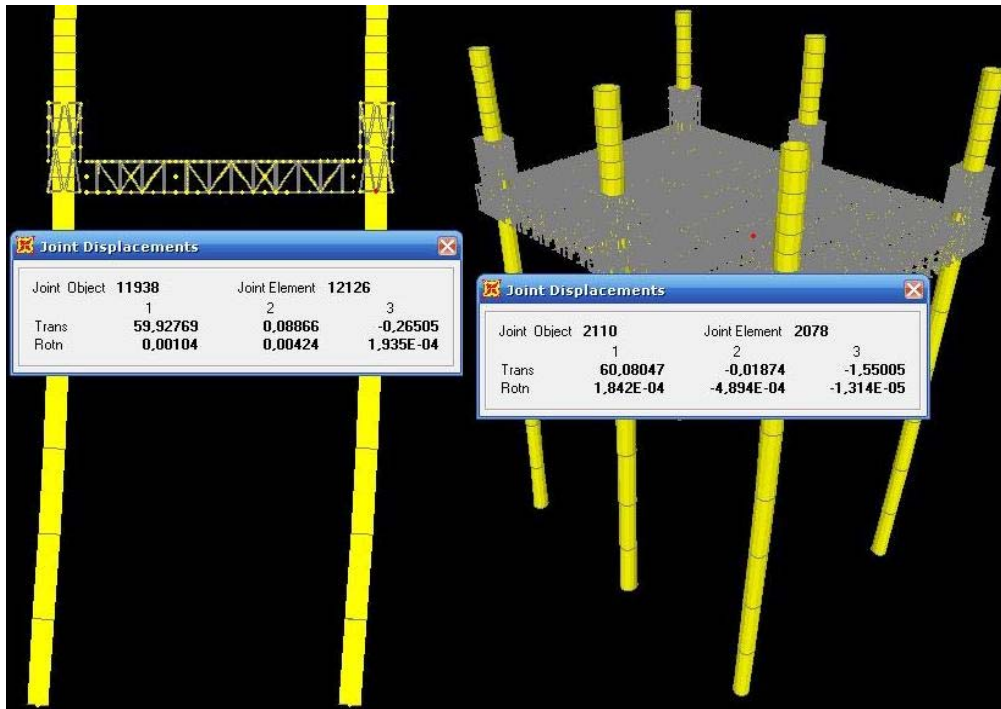
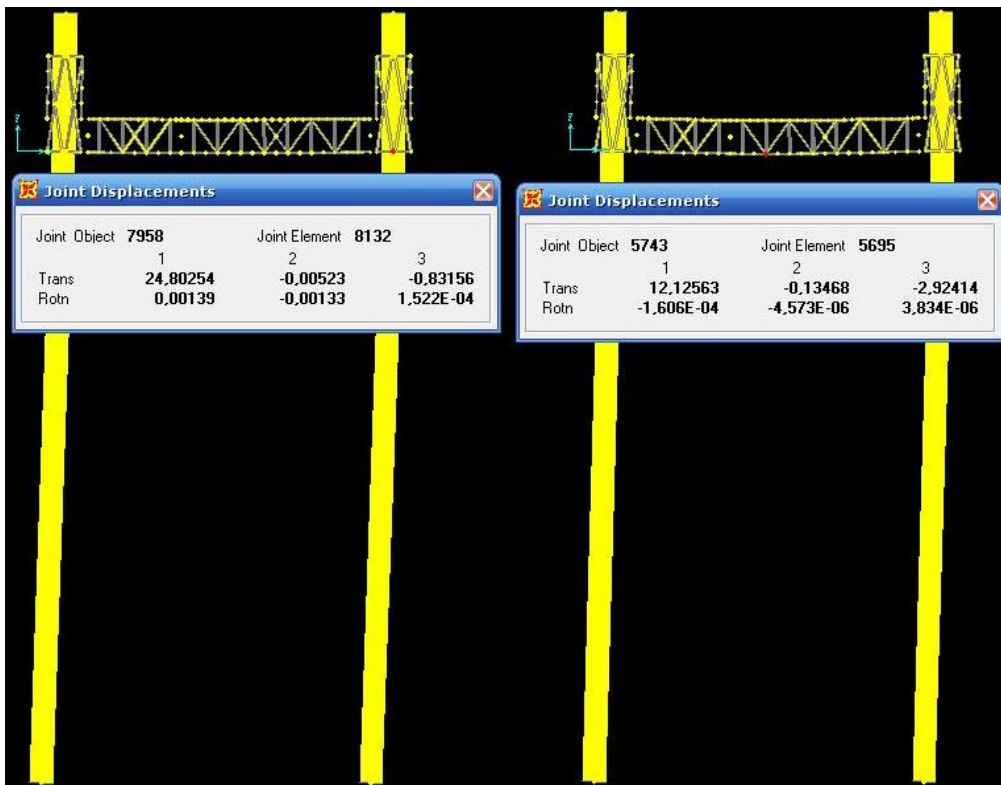
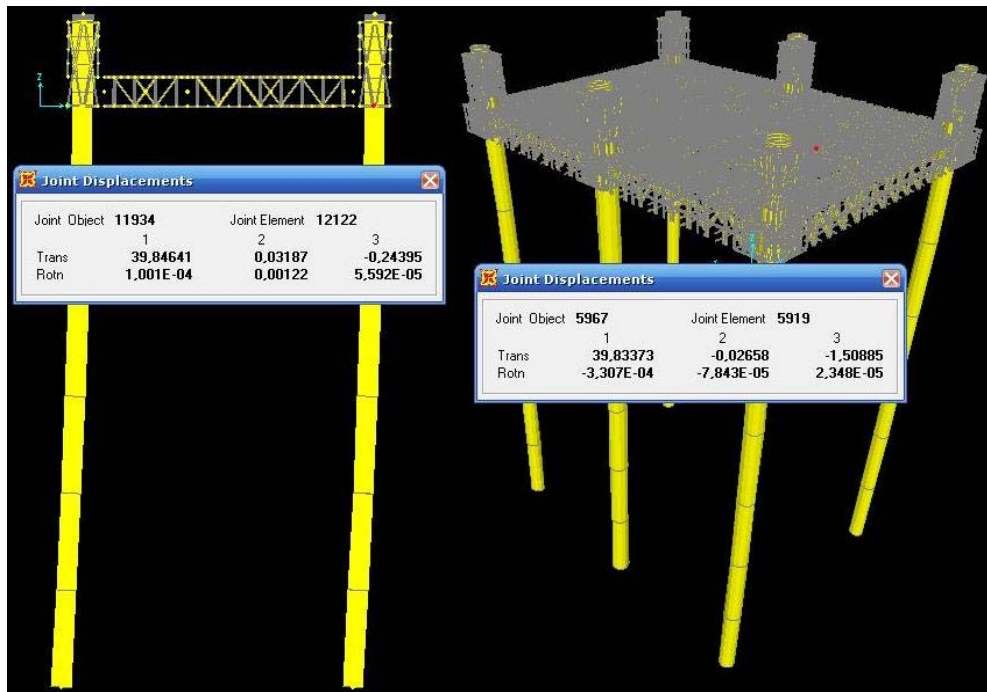


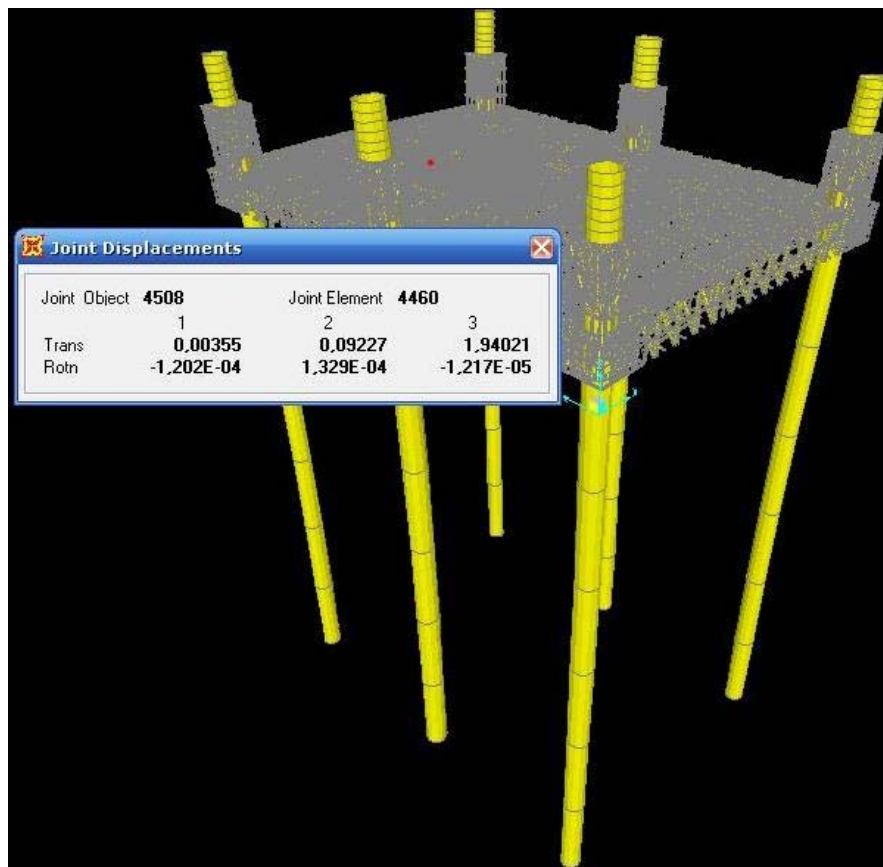
Figura 4.8: Deformaciones en estado de Operación



*Figura 4.9: Deformaciones en estado de Emergencia*



*Figura 4.10: Deformaciones debido a la temperatura*



<b>Tabla 4.8: Resumen de deformaciones plataforma semipesada</b>				
<b>Estado</b>				
<b>Eje</b>	<b>Levante</b>	<b>Operación</b>	<b>Emergencia</b>	<b>Temperatura</b>
<b>X</b>	60,01cm	24,8cm	39,85cm	0,09cm
<b>Z</b>	1,55cm	2,93cm	1,51cm	1,94cm

Las deformaciones de las columnas están todas dentro del rango permitido. Además, la deformación máxima permitida para la mesa de la plataforma es 3,48cm. Luego, las deformaciones de la plataforma también cumplen con lo requerido.

#### **4.2.4. Análisis sísmico**

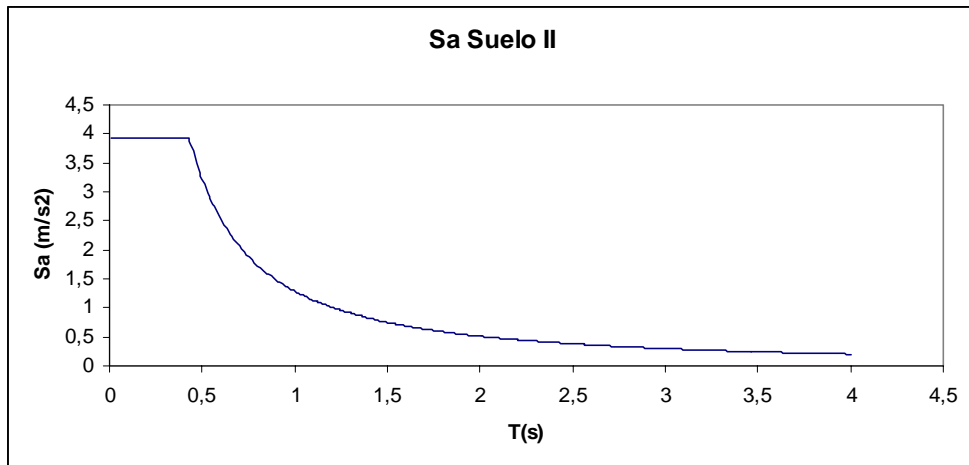
El análisis sísmico de esta estructura da cuenta, al igual que la plataforma liviana, de la existencia de 3 períodos fundamentales de vibración, donde se alcanza prácticamente el 100% de la participación de la masa. Los valores de dichos períodos se muestran en la tabla 4.9. Las figuras 4.11 y 4.12 muestran el espectro de diseño generado para este análisis, para cada uno de los tipos de suelo considerados.

<b>Tabla 4.9: Períodos fundamentales de vibración de la plataforma liviana</b>			
<b>Modo</b>	<b>Período en segundos</b>	<b>Porcentaje masa en X</b>	<b>Porcentaje masa en Y</b>
1	4,85	0,99	0
2	4,85	0,99	0,99
3	4,05	0,99	0,99

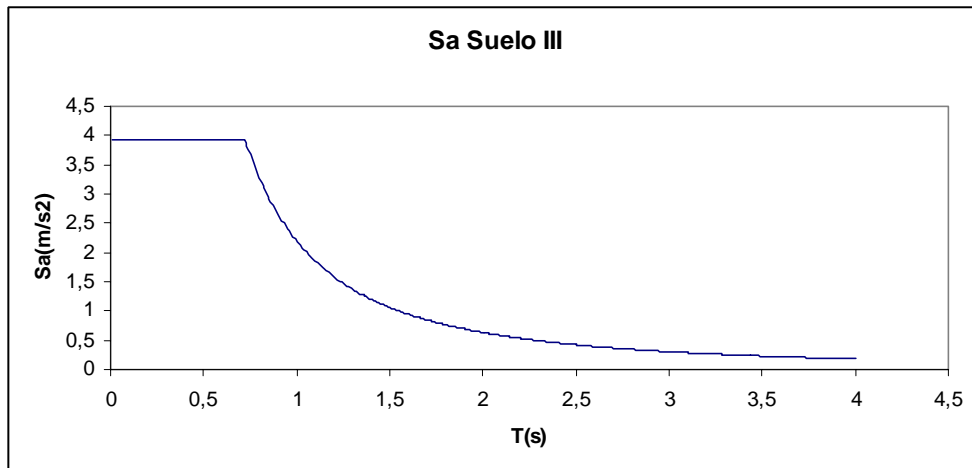
En este caso el espectro de diseño tampoco necesita ser mayor que 3,92m/s<sup>2</sup>. El cociente entre el Corte basal mínimo y el Corte basal es igual a 1,06. Por esta razón, a pesar que es necesario aplicar este factor de corrección a las deformaciones y esfuerzos, debido a su valor, el efecto no es importante y no genera mayores consecuencias en el diseño final. Los valores de cada uno de estos esfuerzos se muestran en la tabla 4.10.



**Figura 4.11: Espectro de diseño para el suelo II**



**Figura 4.12: Espectro de diseño para el suelo III**



**Tabla 4.10: Valores límites**

Límite	Valor
$I \cdot C_{max} \cdot g$	3,92m/s <sup>2</sup>
Q <sub>min</sub>	88,58 Ton
Q <sub>o</sub>	83,19 Ton

### **4.3. Análisis de la flotabilidad de las plataformas en el mar**

Ambas plataformas tienen pesos y volúmenes que les permiten mantenerse a flote de manera holgada, pues según los resultados que se detallan en el anexo H, la plataforma liviana y la semipesada presentan un porcentaje de volumen hundido cercano al 37% y al 50% respectivamente sin sobrecarga. Si consideramos un 25% de la sobrecarga para el momento en que las plataformas deben mantenerse a flote, se obtienen resultados cercanos al 50% y 80%, en ambos casos.

## 5. PRESUPUESTOS DE INVERSIÓN

Para el exitoso desarrollo de este trabajo se barajaron varias opciones a fin de contar con una amplia gama de alternativas por comparar que permitieran la consecución de conclusiones certeras. Dentro de esas opciones surgió la necesidad de enviar peticiones de presupuestos a empresas del rubro de las plataformas con domicilio en el extranjero y a maestranzas nacionales. Todas las opciones que se manejaron fueron sobre la base de la adquisición de equipos nuevos. Los resultados obtenidos y las opciones que fue posible corroborar con datos verídicos se presentan a continuación.

### 5.1. Alternativa 1: Construcción y fabricación en Chile

Esta alternativa considera la fabricación de los módulos en maestranzas ubicadas en territorio nacional y está hecha sobre la base de un cálculo aproximado del costo de construcción por kilogramo de acero en el mercado chileno de construcción en acero. El equipamiento de la plataforma conformado por el sistema mecánico y eléctrico de levante de la plataforma fue imposible obtenerlo en el mercado nacional y por consiguiente, todas las alternativas consideran su adquisición en el extranjero.

La cubicación de los módulos fue hecha mediante programa computacional y el valor de la construcción de los módulos fue hecho considerando un valor promedio de 5 U\$/kgf. Las tablas 5.1 y 5.2 muestran el presupuesto para las plataformas liviana y semipesada respectivamente.

<b>Tabla 5.1: Presupuesto alternativa 1, plataforma liviana</b>			
<b>Módulo</b>	<b>Peso en kgf</b>	<b>Valor unitario en U\$</b>	<b>Valor total en U\$</b>
Cuádruple	10683,55	53417,75	267088,75
Doble	5827,38	29136,9	87.410,7
Simple	8594,85	42974,25	171897
Columna	24755,91	123779,55	495.118,2
Valor Sistema de levante			1.299.700
<b>Total Plataforma</b>			<b>2321214,65</b>

<b>Tabla 5.2: Presupuesto alternativa 1, plataforma semipesada</b>			
<b>Módulo</b>	<b>Peso en kgf</b>	<b>Valor unitario en U\$</b>	<b>Valor total en U\$</b>
Cuádruple	18091,76	90458,8	1.356.882
Doble	9909,14	49545,7	545.002,7
Simple	11428,33	57141,65	342.849,9
Columna A	86022,74	430113,7	860.227,4
Columna B	71282,82	356414,1	1.425.656,4
Valor Sistema de levante			512.328,64
<b>Total Plataforma</b>			<b>5.123.286,4</b>

## 5.2. Alternativa 2: Adquisición en el extranjero

El presupuesto para la plataforma liviana está hecho en base a los precios de referencia encontrados en el mercado internacional para una plataforma de características similares a la considerada en este trabajo. Para la plataforma semipesada se estimó el valor mediante una aproximación sobre la base de cotizaciones hechas por una empresa nacional para una plataforma de características similares a la tratada en este trabajo. A continuación las figuras 5.1 y 5.2 muestran las principales características, entregadas por las empresas internacionales, de las plataformas consideradas en el análisis. La tabla 5.3 muestra un resumen de los presupuestos de inversión.

*Figura 5.1: Características plataforma liviana*

<p><b>TWO NEWBUILDING SELF ELEVATING PLATFORMS</b>  <b>PRICE EURO 5,330,000 EACH</b>  <b>DELIVERY OCTOBER 2007</b>  <b>FULLY CONTAINERIZED AND DISMOUNTABLE UNIT</b>  <b>(100% ISO SEACONTAINERS)</b></p> <p>DIMENSIONS:  ONE UNIT LENGTH 30.5 X WIDTH 17.1 METERS  ONE UNIT LENGTH 30.5 X WIDTH 22.0 METERS  HEIGHT OF PONTOON 2.9 METERS</p> <p>CLASS GERMANISCHER LLOYD 100 A 5 K SELF-ELEVATING UNIT</p> <p>FOUR LEGS  LEG LENGTH 47.4 METERS X DIAMETER 1.4 METERS  (4 LEG PIECES OF 11.8 METERS EACH)</p> <p>JACKING SYSTEM  JACKING SPEED 15 METERS/ HOUR  JACKING STROKE 1.5 METERS  MAXIMUM PAYLOAD 450 TONS  1 X DIESEL ELECTRIC DRIVEN POWERPACK 260 KW</p> <p>OPERATION CONDITIONS  DRAFT 2.0 METER  MAXIMUM WATER DEPTH 32 METERS  WAVE HEIGHT 2 METERS  CURRENT VELOCITY 2 METERS / SECOND</p>
--

**Figura 5.2: Características plataforma semipesada**

<b>Main Dimensions</b>	
Length	43.00 metre
Breadth	30.00 metre
Depth	4.20 metre
Draft max.	2.97 metre
leg length	55 metre, 2.2 x2.3 metre [spudcans available]
<b>Jacking System</b>	
Jacking speed	12 metre/hr. max.
Jacking stroke	1.5 metre
Max. active pay load	2250 tons
Power supply	3x250 kVA + 1x110 kVA
<b>Mooring system</b>	
Winches	6x1 drum, 17.5 tons
Anchors	6x StevShark, 6.5 tons
<b>Crane</b>	
Make	Manitowoc
Type	4100 Ringer on 6 metre high tub
<b>Operating Conditions</b>	
Draft	2.5 metre
Max. water depth	40 metre
Wave height	2.5 metre
Current velocity	1.5 metre/sec.
<b>Survival Conditions</b>	
Water depth	12.5 metre
Airgap	5 metre
Wave height	2.5 metre
Current velocity	1.5 metre/sec.
Wind velocity	12 Beaufort

<b>Tabla 5.3: Presupuestos de inversión en el extranjero</b>		
<b>Plataforma</b>	<b>Valor en euro</b>	<b>Valor en dólar</b>
Liviana	5.330.000	7.291.144,347
Semipesada	11.764.149,65	16.092.704,17

## **6. Análisis Técnico – Económico**

El análisis técnico – económico de las alternativas planteadas en el capítulo anterior, se realizará en función de criterios de importancia a través de los cuales se intenta medir las ventajas y desventajas que presenta cada una de las opciones planteadas. Para esto es necesario definir los siguientes criterios:

- Costo de Construcción y/o adquisición
- Costo de traslado
- Mantenimiento y reparación
- Confianza y respaldo
- Funcionalidad v/s Costo

Una vez definidos los criterios a utilizar, es necesario considerarlos en conjunto y promediarlos de acuerdo a la ponderación que cada uno de ellos tenga en la evaluación final de cada una de las alternativas, dependiendo de la nota que obtenga en cada una de ellas, la que irá entre 1.0 y 7.0. De esta forma es posible concluir con una mejor particularización del problema en función de los objetivos planteados al comienzo de este trabajo.

### **6.1. Criterios de evaluación**

#### **6.1.1. Costo de construcción y/o adquisición**

De acuerdo a los objetivos planteados en este trabajo este es el criterio más importante, pues es necesario establecer claramente la factibilidad económica de ambas alternativas. Considera los presupuestos entregados en el capítulo anterior. La nota que obtiene está en relación inversa al valor del costo, pues a mayor costo menor nota. Tiene una ponderación del 45% en la evaluación final.

### **6.1.2. Costo de traslado**

Este criterio considera el costo que trae implícita cada una de las alternativas analizadas en referencia al traslado de la plataforma desde el lugar de fabricación al lugar de utilización o almacenamiento. La nota que obtiene, al igual que el criterio anterior, esta en relación inversa al valor del costo, esto pues mientras más caro sea trasladar la plataforma desde su lugar de fabricación al lugar de almacenamiento, la alternativa se hace menos conveniente. Su ponderación en la evaluación final es de un 15%.

### **6.1.3. Mantenimiento y reparación**

Tiene referencia con la posibilidad de realizar una mantenimiento periódica adecuada a las plataformas analizadas. Además considera la capacidad de reparar la maquinaria en cualquier caso de falla o desperfecto que se derive de su utilización en el tiempo. Mientras mayor garantía de contar con los técnicos y el personal adecuado para ejecutar una mantenimiento y reparación exista, mayor nota otorgará este criterio. Su ponderación en la evaluación final es de un 10%.

### **6.1.4. Confianza y respaldo**

Al momento de realizar una inversión importante en el mercado nacional o en el internacional, es importante considerar las garantías, la confianza y el riesgo que esta trae implícita. En el caso de las plataformas, es importante saber el grado de respaldo con que cuentan las empresas que ofrecen este tipo de maquinarias y cual será el nivel de satisfacción que experimentan sus clientes al momento de utilizar estos equipos. Para esta evaluación la nota obtenida será mayor mientras más prestigio, trayectoria y experiencia tenga la empresa que vende o construye la maquinaria. Este criterio es importante en relación a los anteriores y por ende su ponderación en la evaluación final es de un 20%.

### **6.1.5. Funcionalidad v/s Costo**

Al momento de comprar una plataforma en el extranjero es posible contar con un catalogo bastante extenso de opciones y características que definen cada una de las plataformas. Sin embargo, considerando el desarrollo de la industria marítima y portuaria nacional pareciera que un gran número de plataformas existentes, cuentan con funcionalidades y características que en la práctica nacional no son requeridas y por lo tanto significan un costo extra innecesario para la inversión. Por esta razón, mientras menos características innecesarias tenga la plataforma, mayor nota tendrá la alternativa. La ponderación en la evaluación final es de un 10%.

## **6.2. Evaluación**

Para eliminar la arbitrariedad en las notas a cada uno de los criterios antes descritos, a cada uno de ellos se les asignó la nota que surgió de una evaluación realizada en conjunto con ingenieros que cuentan con una basta experiencia en proyectos portuarios a nivel nacional e internacional.

### **6.2.1. Alternativa 1: Construcción y fabricación en Chile**

#### **6.2.1.1.Costo de construcción**

De acuerdo a los presupuestos vistos en el capítulo anterior, y en comparación con los precios del mercado internacional, esta alternativa presenta en este criterio su mayor ventaja, por lo que obtiene la mayor nota: 7.0.

#### **6.2.1.2.Costo de traslado**

La posibilidad que presenta esta alternativa de realizar la construcción y fabricación de las plataformas en territorio nacional, es la alternativa ideal al momento de evaluar los costos de traslados, pues evita costos referentes al arriendo de remolques o embarcaciones especiales que son necesarias para trasladar este tipo de equipos a través del mundo. Obtiene nota 7.0.



### **6.2.1.3.Mantenimiento y reparación**

Debido a que esta alternativa requiere del compromiso de una maestría externa a quien adquiere la plataforma y que no se especializa en la construcción de este tipo de equipos, es posible que cada vez que sea necesario realizar mantenimiento del equipo, el proceso cuente con ciertas dificultades derivadas de la poca experiencia en este tipo de procesos. Sin embargo, en el país existe capacidad de reparar estructuras de acero. Además, es posible desarrollar procesos que permitan el perfeccionamiento de técnicos y de personal especializado para esta tarea. Obtiene nota 5.0.

### **6.2.1.4.Confianza y respaldo**

Siempre que una alternativa proyecte desarrollar un ámbito desconocido en cualquier tipo de campo, será muy difícil tener certezas respecto de los resultados finales de la iniciativa. En este caso, construir este tipo de equipos en Chile, es algo que nunca se ha hecho y por ende no es posible hablar ni de niveles de confianza ni de grados de respaldo ante los riesgos que se deben correr. Sin embargo, un buen punto a favor en este criterio es la alta calidad profesional de los ingenieros chilenos y el buen desempeño de la mano de obra nacional, lo que hace suponer con seguridad el éxito del funcionamiento de la estructura. Además, es posible contratar seguros que respalden la utilización de las plataformas, lo que otorga un mayor grado de confianza en su operación. Obtiene nota 5.5.

### **6.2.1.5.Funcionalidad v/s Costo**

Al tratarse esta alternativa de una opción de construir un equipo, la hace moldeable a las necesidades de quien necesite adquirir este tipo de plataformas y por ende tiene la ventaja de contar solamente con las especificaciones que se requiera. De esta forma no se estará derivando parte de la inversión en características que no son necesarias. Requerimientos generales a todas las plataformas, como los 3 metros sobre el nivel máximo alcanzado por la ola, hacen que no obtenga la nota máxima. Obtiene nota 6.0.

## **6.2.2. Alternativa 2: Adquisición en el extranjero**

### **6.2.2.1. Costo de adquisición**

Esta alternativa es un ejemplo típico del mercado internacional, y por ende presenta el valor característico esperable. Es una inversión grande pero recuperable en el largo plazo. Sin embargo, el costo es más que el doble de la alternativa 1. Obtiene nota 4.0.

### **6.2.2.2. Costo de traslado**

La necesidad de adquirir el equipo fuera de Chile trae implícita la necesidad de derivar gastos de la inversión en su traslado desde el extranjero hasta territorio nacional. Tomando en cuenta que este tipo de equipos se construyen mayoritariamente en Europa y Asia, los costos asociados al traslado son altos y pueden ser un porcentaje importante de la inversión final. Generalmente terminan siendo un obstáculo al momento de tomar la decisión de invertir. Obtiene nota 3.0.

### **6.2.2.3. Mantenimiento y reparación**

Generalmente las empresas internacionales que ofrecen equipos en el mercado internacional, cuentan con un soporte de equipos técnicos desplegados a lo largo de todo el mundo, lo que permite una mantenimiento adecuada de los equipos que comercializan. Sin embargo, la probabilidad de contar con uno de estos equipos técnicos en Chile es poca y por lo tanto surge la necesidad de traerlos desde el exterior cada vez que una mantenimiento sea requerida. Obtiene nota 6.0.

### **6.2.2.4. Confianza y respaldo**

La gran ventaja que presenta esta alternativa es el respaldo que otorga una empresa con basta trayectoria en el ámbito de las plataformas marinas, pues disminuye los riesgos asociados a la falla del equipo y a la posibilidad de contar con expertos que la reparen. Sin embargo, la

inexistencia de este tipo de empresas en Chile, traen consigo un grado de riesgos asociados a la imposibilidad de tratar directamente con la casa matriz en el país de origen. Obtiene nota 6.0.

#### 6.2.2.5. Funcionalidad v/s Costo

Esta alternativa presenta la obligación de comprar por catálogo. Lo que por un lado puede implicar mayor disponibilidad de equipos para adquirir pero nula posibilidad de influir en el diseño de la plataforma. Esto trae como consecuencia el desvío de parte de la inversión a especificaciones técnicas que no son requeridas en la industria nacional y por ende un aumento innecesario del costo de inversión. Obtiene nota 5.0.

### 6.3. Comparación y ponderaciones

De acuerdo a las evaluaciones descritas anteriormente es posible ponderar las notas finales que obtiene cada una de las alternativas analizadas. De acuerdo a estas ponderaciones, la alternativa 1 presenta mejor nota final que la alternativa 2. La tabla 6.1 muestra el resumen de las notas y la ponderación final de cada una de las opciones.

<b>Tabla 6.1: Resultados de la evaluación</b>			
<b>Criterio</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Alternativa 1: Construcción en Chile</b>	<b>Alternativa 2: Compra en el extranjero</b>
Construcción	45%	70	40
Traslado	10%	70	30
Mantenimiento	10%	50	60
Confianza	25%	55	60
Funcionalidad	10%	60	50
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>64</b>	<b>46</b>

## **7. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES**

La factibilidad de desarrollar este tipo de proyectos en Chile depende a grandes rasgos de las capacidades técnicas y económicas existentes en el país y de la voluntad que su sociedad demuestre para dar un salto cualitativo en el desarrollo de una industria propia de fabricación de maquinaria que posibilite el desarrollo industrial y tecnológico de su pueblo.

En este trabajo se ha indagado en los dos primeros aspectos señalados anteriormente, pues son los que están al alcance de ser desarrollados individualmente y no requieren estratégicamente de la voluntad de terceros para mostrar atisbos que permitan inferir conclusiones que sean un aporte para los objetivos planteados. Sin embargo, es necesario explicitar las dificultades que se presentaron a la hora de desarrollar el trabajo de investigación previo al diseño de las estructuras en cuestión. Dificultades que fueron desde la imposibilidad económica de acceder a documentos valiosos que sólo se encuentran a disposición en el mercado, hasta la negación por parte de muchas personas a prestar colaboración en la acumulación de información referente al tema y tendiente a permitir mejores resultados a lo largo de este trabajo.

En definitiva, con todos estos antecedentes, es posible decir que los objetivos planteados al comienzo de este trabajo han sido cumplidos, toda vez que los análisis desarrollados y los resultados obtenidos permiten concluir respecto de la factibilidad técnica y económica del diseño y fabricación en Chile de plataformas tipo Jack Up livianas y semipesadas en comparación con las plataformas del mismo tipo suministradas por proveedores internacionales

### **7.1. Factibilidad Técnica**

Considerando las posibilidades que presenta el mercado nacional de construcción de estructuras de acero, es posible concluir que, contando con el diseño básico que se ha desarrollado en este trabajo y una vez desarrollado el diseño de detalle de las estructuras analizadas, es completamente factible llevar a cabo la construcción de las plataformas en territorio nacional.

Más aún, si se considera que la tarea de recopilar experiencias en este campo fue bastante difícil y quizás al momento de contar con un inversionista decidido, es posible acceder a mayor información respecto de los requerimientos estructurales establecidos a nivel internacional a modo de normas u otras publicaciones, sería posible desarrollar un diseño mucho más acotado, no tan sobredimensionado y en consecuencia más fácil de construir.

De todas formas es necesario tener en cuenta la evaluación y la valoración que se detalló en el capítulo anterior de este trabajo, por cuanto en este trabajo las notas finales muestran una conveniencia evidente de la primera alternativa. Sin embargo, si se cambian los objetivos del análisis y en consecuencia cambian las ponderaciones de los criterios, dando más énfasis por ejemplo a los criterios que hacen referencia a los grados de ventaja o desventaja técnica que presentaría la fabricación de estas estructuras en Chile en comparación con su fabricación en el extranjero, es evidente que la alternativa nacional tendría una peor evaluación que la alternativa de compra en el extranjero. Esto, pues existe un mercado internacional de este tipo de equipos que trae consigo todo un desarrollo y una experiencia de años en este campo que en Chile no se tiene y que por ende sitúa la alternativa nacional con un grado de desventaja.

Por otro lado, hay que dejar en claro que el trabajo desarrollado sólo permite concluir respecto de las posibilidades técnicas de la construcción de la estructura en sus aspectos referentes a la ingeniería estructural. Las particularidades que hacen referencia a los equipos eléctricos y mecánicos necesarios para completar este tipo de plataformas, son imposibles de tratar acá desde la perspectiva de plantear su fabricación en Chile, pues no se cuenta con los conocimientos suficientes en esta área. Sin embargo, es completamente factible su adquisición en el extranjero y por lo tanto, no presentan una limitación para la fabricación de las plataformas en Chile.

## **7.2. Factibilidad Económica**

Respecto de la factibilidad económica de desarrollar este tipo de proyectos en Chile y de acuerdo a los presupuestos mostrados en capítulos anteriores, se puede concluir que es completamente factible realizar una inversión en este tipo de plataformas para fabricarlas en

Chile, toda vez que significan un elemento estratégico en el desarrollo de la industria marítima portuaria y los montos de inversión son bastante menores en la alternativa nacional que en la extranjera. Además, y con base en los costos planteados anteriormente, es posible concluir que la recuperación de la inversión en un proyecto de este tipo, es completamente posible en el mediano o largo plazo.

No obstante, hay que precisar que fue imposible obtener una cotización actualizada de una plataforma semipesada, por lo que el análisis está basado en datos con al menos un año de antigüedad y por ende las diferencias pueden ser distintas y no ser tan importantes como se detalló en el capítulo referente al tema. Sin embargo, es posible afirmar que a pesar de que la diferencia puede disminuir, será siempre favorable para la opción nacional en contraposición con la extranjera. En el caso de la plataforma liviana, los datos son completamente vigentes y permiten que la conclusión tenga un grado de certeza mayor.

### **7.3. Otros alcances**

Más allá de las conclusiones que se desprendan de este trabajo, es necesario aún estimular el desarrollo de más y mejor investigación que abarque este tema tomando en cuenta las omisiones o incapacidades que hayan surgido en este trabajo. A modo de ejemplo, es menester proponer que para próximas investigaciones, se evalúe la posibilidad de constituir equipos interdisciplinarios que tengan un mayor alcance y que permitan generar conclusiones aún más certeras y sean un aporte cualitativo mayor que el que se puede hacer desde un sólo campo. Habría sido mucho más provechoso, por ejemplo, contar con especialistas en mecánica que permitieran evaluar con certeza la posibilidad de generar los equipos hidráulicos necesarios para el funcionamiento de las plataformas y el costo de la fabricación en Chile de estos.

Además, se propone profundizar más en el análisis y diseño de las conexiones entre los módulos de la plataforma y las conexiones entre los módulos simples y las columnas de las plataformas.

## **8. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

- [1] NCh 431 Of 77, Construcción – Sobrecargas de Nieve.
- [2] NCh 432 Of 71, Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones.
- [3] NCh 2369 Of 2003, Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales.
- [4] Technical Standards and Commentaries for Ports and Harbour Facilities in Japan, 2002.
- [5] Coastal Engineering Manual, US Army Corps of Engineers, 2003.
- [6] Recomendaciones de Obras Marítimas, ROM 0.2-90, Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias.
- [7] Shore Protection Manual, Coastal Engineering Research Center, Department of the Army.
- [8] AISC 2005, Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings.
- [9] SEI/ASCE 37 – 02 Design Loads on Structures During Construction.
- [10] Sistema Portuario de Chile 2005, Dirección Nacional de Obras Portuarias.
- [11] El Transporte Marítimo y los Puertos en América Latina y El Caribe: Un análisis de su desempeño reciente, CEPAL, 2004.
- [12] Perfil Marítimo de América Latina y El Caribe, CEPAL
- [13] Oleaje de diseño y respuesta de playa emisario Constitución Playa el Arenal, Baird and associates S.A, 31 de Enero de 2005.