

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS INGENIERIA Y AGRIMENSURA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

## **PROYECTO FINAL**

**Diseño de Dispositivo de Corrección Postural Personalizado y  
Adaptable a una Silla de Ruedas Universal**

**DOCENTES:** Ing. Pedro Sismondi  
Ing. Santiago Zanotti  
Ing. Guillermo Rodriguez  
Ing. Pablo Francia

**ALUMNA:** Arancibia, Eugenia A-3514/9

**2014**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco de corazón a mis hermanos, padres, abuelos y amigos, quienes me han alentado durante toda la carrera y sin cuyo apoyo incondicional no habría sido posible la conclusión de este proyecto. ¡Este logro es de ustedes!

Agradezco también a todas aquellas personas que durante el transcurso de mi vida me enseñaron que la discapacidad es un problema de la sociedad y no individual. La integración plantea enormes desafíos y pone en evidencia la falta de preparación del sistema. A uds les agradezco el haberme enseñado a mirar de manera crítica nuestro sistema y a aplicar la ingeniería como herramienta para colaborar a mejorar la calidad de vida de las personas y en la construcción de una sociedad más igualitaria e integradora.

*“Alguien hizo un círculo y me dejó fuera de él;  
Yo hice uno más grande e incluí a todos”*

Autor desconocido

*“Tenemos que obligar a la realidad a que responda a nuestros sueños, HAY que seguir soñando hasta abolir la falsa frontera entre lo ilusorio y lo tangible, hasta realizarnos y descubrirnos que el paraíso estaba ahí, a la vuelta de todas las esquinas”*

Julio Cortazar, Alcor, 1964

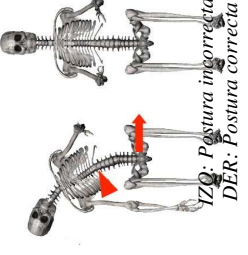
*“¿Y que es trabajar con amor?  
Es poner en todo lo que hagas  
un soplo de tu alma”*

Khalil Gibran

*“Tal vez el sonido de una guitarra;  
Haga que tu luz pueda brillar”*

M.

**TABLA SÍNTESIS**

OBJETIVO	DIAGNÓSTICO	COND. LIMITE	PROPÓSITOS	VARIABLES	PROPUESTA
<p>DISEÑAR UN DISPOSITIVO DE CORRECCIÓN POSTURAL PERSONALIZADO Y ADAPTABLE A UNA SILLA DE RUEDAS UNIVERSAL</p>	<p>En Argentina las personas con dificultades motrices en la parte inferior del cuerpo y que posean la certificación adecuada por medio de la Ley Nacional 24.901, reciben del Estado una silla de ruedas convencional. Estas sillas fueron diseñadas para usuarios con postura normal, pero no para aquellos que son incapaces de mantener una postura correcta de forma independiente. Para estos últimos, las sillas de ruedas convencionales resultan inadecuadas ya que poseen respaldar de cuerina que no evita ni corrige la mala postura del usuario.</p>  <p>TZQ: Postura incorrecta DER: Postura correcta</p> <p>Con el trascurso del tiempo, el uso continuado del respaldar de tela afecta la postura, confort, funciones y salud de la persona. De hecho, puede producir trastornos posturales que conllevan a deformidades en la columna vertebral y la pelvis. A pesar de que la relación entre mala postura y el costo que ésta genera no es inmediatamente perceptible, una mala postura puede ocasionar: incomodidad, yagas de presión, contracturas, disminuir el grado de movimiento, espasticidad (es un incremento en el tono muscular con rigidez y exagerados reflejos), deformación en la columna vertebral, disfunción de órganos internos, y un incremento del aumento de dependencia del usuario.</p> <p><b>NECESIDAD:</b> Tecnología Asistiva que guíe y sostenga el torso del usuario de silla de ruedas para garantizar la correcta postura de sentado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dimensiones de la silla de rueda universal;</li> <li>- usuarios de silla de ruedas adolescente a adulto (no niño);</li> <li>- materiales que se puedan conseguir en la región;</li> <li>- accesible para personas de pocos recursos;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estudiar y aplicar la metodología para el desarrollo de un proyecto de diseño mecánico</li> <li>- Investigar sobre: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) discapacidad;</li> <li>b) silla de ruedas;</li> <li>c) biomecánica de la silla de ruedas;</li> <li>d) ergonomía;</li> <li>e) alternativas de solución actuales en el mercado;</li> </ul> </li> <li>- Establecer las especificaciones técnicas que debe cumplir el producto;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- metodologías de diseño</li> <li>- tiempo de copiado/obtención de morfología;</li> <li>- desnudez del torso del usuario;</li> <li>- tiempo de contacto con usuario;</li> <li>- cantidad de contactos equipo-usuario;</li> <li>- error del método de obtención de morfología;</li> <li>- cantidad de puntos de referencia;</li> <li>- separación entre puntos de referencia;</li> <li>- superficie de contacto dispositivo-usuario;</li> <li>- presión de contacto dispositivo-usuario;</li> <li>- superficie del torso del usuario abierta al aire;</li> <li>- impermeabilidad de la superficie de contacto dispositivo-usuario;</li> <li>- tiempo de desmontaje del dispositivo;</li> <li>- cantidad de pasos para desmontar el dispositivo;</li> <li>- tiempo de montaje del dispositivo;</li> <li>- cantidad de pasos para montar el dispositivo;</li> <li>- masa del dispositivo;</li> <li>- impermeabilidad de la superficie expuesta del dispositivo;</li> <li>- tiempo secado de la sup expuesta del dispositivo;</li> <li>- superficie del dispositivo abierta al aire;</li> <li>- dist. máxima a la cual se percibe el dispositivo;</li> <li>- costo de obtener la morfología del torso;</li> <li>- costo de los materiales del dispositivo;</li> <li>- costo de fabricación del dispositivo;</li> <li>- costo de mantenimiento;</li> <li>- cant veces que puede reutilizarse dispositivo modificando formato;</li> <li>- vida útil del dispositivo</li> <li>- sist de acople a una silla de ruedas universal;</li> <li>- dimensiones y diseño de silla de ruedas convencional;</li> <li>- sist soporte del torso;</li> <li>- morfología del torso;</li> <li>- antropometría</li> <li>- dimensiones de los elementos de la cadena cinemática;</li> <li>- fuerzas aplicadas a cada elemento del sistema;</li> <li>- materiales de los elementos del dispositivo;</li> <li>- dimensiones de las secciones de los elementos del dispositivo;</li> <li>- dimensiones óptimas de los elementos del dispositivo;</li> <li>- materiales de los elementos del dispositivo;</li> <li>- métodos de fabricación;</li> </ul>	<p>RESPALDAR DE CORRECCIÓN POSTURAL PERSONALIZADO</p> <p><b>FUNCIONES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Copiar adecuadamente la morfología del torso del usuario;</li> <li>-Requerir el menor tiempo posible de personalización;</li> <li>-Requerir mínima invasividad/ contacto con el usuario;</li> <li>-Poseer rigidez una vez setado;</li> <li>-Ser ergonómico (mullido, ángulo, altura, etc);</li> <li>-Generar la menor transpiración posible;</li> <li>-Ser desmontable/ revatible/ plegable;</li> <li>-Poseer el mínimo peso posible;</li> <li>-Ser impermeable/ resistente al agua;</li> <li>-Generar el mínimo contraste con el entorno (Apariencia agradable);</li> <li>-Generar el mínimo costo;</li> <li>-Guiar y sostener el torso del usuario adecuadamente;</li> <li>-Ser adaptable a silla de ruedas universal;</li> <li>-Poseer la máxima vida útil posible;</li> </ul>

# INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>II</b>
<b>TABLA SÍNTESIS</b> .....	<b>III</b>
<b>INDICE</b> .....	<b>IV</b>
<b>1 - INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 - DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2 - IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD .....	2
1.3 - OBJETIVO GENERAL .....	2
1.4 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.5 - ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO .....	3
1.6 - METODOLOGÍA DE DISEÑO .....	4
1.7 - REFERENCIAS.....	5
<b>2 - ESTUDIO PRELIMINAR</b> .....	<b>6</b>
2.1 - ESTUDIO SOBRE DISCAPACIDAD .....	6
2.1.1 - <i>Definición</i> .....	6
2.1.2 - <i>Panorama Mundial y Nacional</i> .....	6
2.1.3 - <i>Marco Legal</i> .....	7
2.1.4 - <i>Normas</i> .....	10
2.2 - ESTUDIO SOBRE SILLA DE RUEDAS.....	11
2.2.1 - <i>Definición</i> .....	11
2.2.2 - <i>Necesidad de Sillas de Ruedas</i> .....	11
2.2.3 - <i>¿Qué es una Silla de Ruedas APROPIADA?</i> .....	11
2.2.4 - <i>Derecho a la Silla de Ruedas y Ayudas Técnicas</i> .....	11
2.2.5 - <i>Normas</i> .....	13
2.3 - BIOMECAICA DE LA SILLA DE RUEDAS .....	14
2.3.1 - <i>Factores que Afectan a la Movilidad</i> .....	14
2.3.2 - <i>Factores que Afectan a la Propulsión</i> .....	15
2.3.3 - <i>La Postura en la Silla de Ruedas</i> .....	18
2.3.4 - <i>Medidas Necesarias para la Correcta Prescripción de la Silla de Ruedas:</i> .....	21
2.4 - ESTUDIO SOBRE LA COLUMNA VERTEBRAL .....	25
2.4.1 - <i>Definición</i> .....	25
2.4.2 - <i>Funciones</i> .....	25
2.4.3 - <i>Defectos posturales</i> .....	26
2.5 - ESTUDIO SOBRE LOS DISPOSITIVOS DE SOPORTE POSTURAL .....	27
2.6 - INVESTIGACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS EXISTENTES EN EL MERCADO ACTUAL .....	29
2.6.1 - <i>Instituto Nuevo Amanecer (México)</i> .....	29
2.6.2 - <i>UFRGS - Universidade Federal de Rio Grande do Sul (Porto Alegre, Brasil)</i> .....	30
2.7 - REFERENCIAS.....	33
<b>3 - ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b> .....	<b>34</b>
3.1 - INTRODUCCIÓN .....	34
3.2 - QFD (QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT).....	35
3.3 - DESARROLLO DEL QFD .....	39
3.4 - DEFINICIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	44
3.5 - REFERENCIAS.....	44
<b>4 - DISEÑO CONCEPTUAL</b> .....	<b>45</b>
4.1 - INTRODUCCIÓN .....	45
4.2 - PREMISAS Y REESTRICCIONES.....	45
4.3 - FUNCIONES DEL DISPOSITIVO.....	45
4.4 - DESARROLLO DEL DISEÑO CONCEPTUAL.....	46

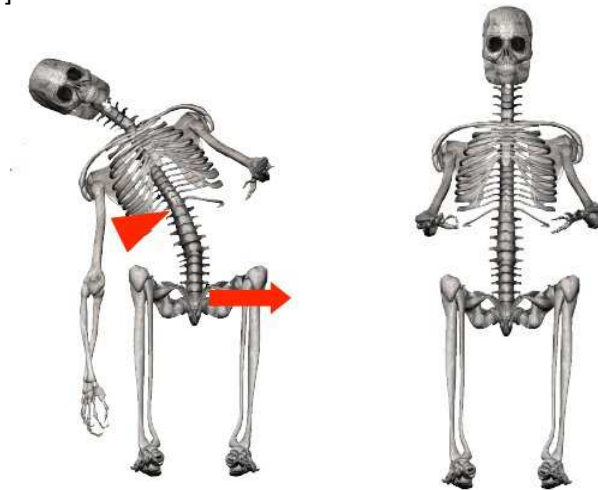
4.5 - REFERENCIAS .....	50
<b>5 - SÍNTESIS CINEMÁTICA .....</b>	<b>51</b>
5.1 - INTRODUCCIÓN .....	51
5.2 - ESQUEMA CINEMÁTICO .....	52
5.3 - SÍNTESIS CINEMÁTICA DE COSTILLA INFERIOR .....	54
5.4 - SÍNTESIS CINEMÁTICA DE COSTILLA MEDIA.....	56
5.5 - SÍNTESIS CINEMÁTICA DE COSTILLA SUPERIOR .....	57
5.6 - OPTIMIZACIÓN .....	58
5.7 - REFERENCIAS.....	64
<b>6 - ANÁLISIS ESTÁTICO.....</b>	<b>65</b>
6.1 - INTRODUCCIÓN .....	65
6.2 - ANÁLISIS ESTÁTICO DEL CONJUNTO SILLA-RESPALDAR.....	65
6.3 - ANÁLISIS ESTÁTICO DE COSTILLA INFERIOR.....	66
6.3.1 - Cálculo De Fuerzas Lado Derecho.....	66
6.3.2 - Cálculo De Fuerzas Lado Izquierdo.....	75
6.3.3 - Cálculo de Fuerzas en Piezas centrales.....	83
6.4 - ANÁLISIS ESTÁTICO DE COSTILLA MEDIA .....	85
6.4.1 - Cálculo De Fuerzas Lado Derecho.....	85
6.3.2 - Cálculo De Fuerzas Lado Izquierdo.....	92
6.3.3 - Cálculo de Fuerzas en Piezas centrales.....	98
6.5 - ANÁLISIS ESTÁTICO DE COSTILLA SUPERIOR.....	100
6.5.1 - Cálculo De Fuerzas Lado Derecho.....	100
6.5.2 - Cálculo De Fuerzas Lado Izquierdo.....	110
6.5.3 - Cálculo de Fuerzas en Piezas centrales.....	119
6.6 - ANÁLISIS ESTÁTICO DE COLUMNA.....	121
6.7 - CÁLCULO DE FUERZAS Y MOMENTOS CON COMPUTADORA .....	122
<b>7 - ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE LOS MATERIALES.....</b>	<b>147</b>
7.1 - SELECCIÓN DEL MATERIAL.....	147
7.2 - SELECCIÓN DEL CRITERIO DE FALLA:.....	153
7.3 - CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS TRIDIMENSIONALES PRINCIPALES: .....	155
7.4 - CÁLCULO DEL FACTOR DE DISEÑO: .....	156
7.5 - RELACIÓN ENTRE ESFUERZOS Y GEOMETRÍA DEL COMPONENTE .....	157
7.6 - CÁLCULO DE TENSIÓN ADMISIBLE .....	158
7.7 - DIMENSIONAMIENTO.....	159
7.7.1 - Eslabones.....	159
7.7.2 - Bielas.....	164
7.7.3 - Guías de costilla .....	169
7.7.4 - Soporte central.....	175
7.7.5 - Pernos unión.....	180
7.8 - REFERENCIAS.....	181
<b>8 - PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....</b>	<b>182</b>
<b>9 - ESTUDIO ECONÓMICO .....</b>	<b>183</b>
9.1 - ESTUDIO DEL MERCADO .....	183
9.1.1 - Relevamiento de las Alternativas Actuales en la Región.....	183
9.1.2 - Estimación del mercado .....	184
9.2 - CÁLCULO DEL COSTO TOTAL.....	185
9.2.1 - Costo Variable .....	185
9.2.2 - Costo Fijo.....	186
9.2.3 - Costo Total .....	186
9.3 - CÁLCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO, UTILIDAD Y CONTRIBUCIÓN MARGINAL .....	187
9.3.1 - Punto de Equilibrio y Precio de Venta .....	187
9.3.2 - Utilidad y Contribución Marginal.....	187

9.4 - CÁLCULO DE LA INVERSIÓN INICIAL.....	188
9.5 - CÁLCULO DEL FLUJO DE CAJA DE LA INVERSIÓN.....	188
9.6 - EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO.....	190
9.7 - REFERENCIAS.....	192
<b>10 - ANEXOS.....</b>	<b>193</b>
10.1 - ANEXO A: QFD.....	194
10.2 - ANEXO B: PLANO EIM-01-05-M-001.....	195
10.3 - ANEXO C: PLANO EIM-01-06-M-001.....	196
10.4 - ANEXO D: PLANO EIM-01-08-M-001.....	197

# 1 - INTRODUCCIÓN

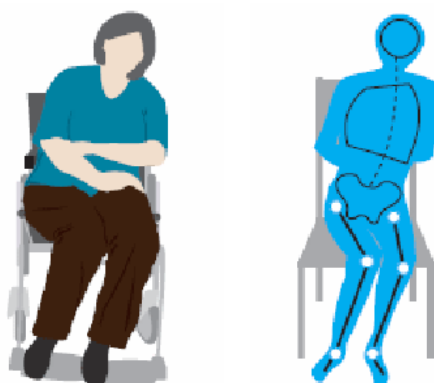
## 1.1 - DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En Argentina las personas con dificultades motrices en la parte inferior del cuerpo y que posean la certificación adecuada por medio de la Ley Nacional 24.901, reciben del Estado una silla de ruedas convencional [1]. Estas sillas fueron diseñadas para usuarios con postura normal, pero no para aquellos que son incapaces de mantener una postura correcta de forma independiente. Para estos últimos, las sillas de ruedas convencionales resultan inadecuadas ya que poseen respaldar de cuerina que no evita ni corrige la mala postura del usuario [2].



1.1.a - Postura incorrecta [3]      1.1.b – Postura correcta [3]

Con el transcurso del tiempo, el uso continuado del respaldar de tela afecta la postura, confort, funciones y salud de la persona. De hecho, puede producir trastornos posturales que conllevan a deformidades en la columna vertebral y la pelvis [4]. A pesar de que la relación entre mala postura y el costo que ésta genera no es inmediatamente perceptible, una mala postura puede ocasionar: incomodidad, yagas de presión, contracturas, disminuir el grado de movimiento, espasticidad (es un incremento en el tono muscular con rigidez y exagerados reflejos), deformación en la columna vertebral, disfunción de órganos internos, y un incremento del aumento de dependencia del usuario [5].



1.2 – Ejemplo de postura incorrecta [6]

Por ejemplo, a pesar que la señora de la imagen 1.2 parezca estar cómodamente sentada, mantener esa postura por un período prolongado de tiempo puede ocasionar los siguientes problemas: [6]

- La persona está inclinada hacia su izquierda, por lo que está ejerciendo mayor peso sobre la nalga izquierda. Esto puede rápidamente ocasionar daños en esa zona de la piel, e incluso generar yagas de presión.
- La columna vertebral está curvada y la caja torácica está siendo presionada en el costado derecho mientras la persona trata de mantenerse erguida. Esto puede ocasionar dolores de espalda y problemas de respiración.
- Las rodillas están presionadas entre ellas y se han inclinado hacia la izquierda. Con el tiempo, esto puede generar endurecimiento de los músculos de las piernas, ocasionando dificultades para separar las piernas.
- El incremento de la tensión del cuerpo puede ocasionar espasticidad.
- La persona está apoyada sobre su codo izquierdo para evitar caerse. Esto puede generar yagas de presión en esa zona, o incluso impedir el uso del brazo izquierdo para actividades cotidianas.

## **1.2 - IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD**

Tecnología Asistiva que guíe y sostenga el torso del usuario de silla de ruedas para garantizar la correcta postura de sentado.

## **1.3 - OBJETIVO GENERAL**

Diseño de un dispositivo de corrección postural personalizado y adaptable a una silla de ruedas convencional.

## **1.4 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar y aplicar la metodología para el desarrollo de un proyecto de diseño mecánico;
- Investigar sobre: a) discapacidad; b) silla de ruedas; c) biomecánica de la silla de ruedas; d) ergonomía; e) alternativas de solución actuales en el mercado;
- Establecer las especificaciones técnicas que debe cumplir el producto;
- Diseñar conceptualmente la propuesta;
- Elaborar la síntesis cinemática;
- Realizar análisis estático;
- Realizar análisis de resistencia de materiales;
- Diseñar los planos de fabricación de la propuesta de solución adoptada.

## 1.5 - ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO

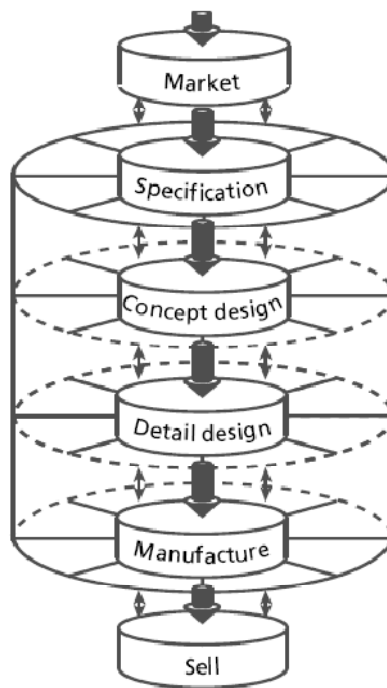
El proyecto está organizado de la siguiente manera:

- Capítulo 2: Sitúa el marco teórico-conceptual del problema para ilustrar correctamente la realidad estudiada. En el mismo se describe de manera clara tanto el diagnóstico del problema como la justificación del estudio, haciendo hincapié en el por qué y para qué realizar el trabajo. Además se desarrollan los antecedentes, se sitúa el marco legal y se describen conceptos claves que se utilizarán durante el desarrollo del proyecto. Por último, se investiga qué alternativas existen en el mercado actual para satisfacer la necesidad en estudio, y cuáles son sus características.
- Capítulo 3: Desarrolla y establece las especificaciones técnicas que debe cumplir la solución buscada.
- Capítulo 4: Elabora el diseño conceptual de la propuesta
- Capítulo 5: Desarrolla síntesis cinemática para estudiar la geometría del conjunto.
- Capítulo 6: Realiza análisis estático para obtener las fuerzas y momentos que actúan sobre cada componente.
- Capítulo 7: Realiza análisis de resistencia de materiales: selección del material, selección del criterio de falla, dimensionamiento de los componentes, análisis de resistencia de los mismos.
- Capítulo 8: Establece la propuesta de solución adoptada

## 1.6 - METODOLOGÍA DE DISEÑO

El presente proyecto se desarrolló siguiendo la metodología de DISEÑO TOTAL (*Total Design*) propuesta por la SEED (Sharing Experience in Engineering Design) y Pugh [7]. Se decidió dedicar esta sección para describir brevemente los pasos del diseño mecánico que forman el esqueleto de este proyecto.

Diseño es definido según la SEED como “el conjunto de actividades requeridas para generar un producto o proceso que satisfaga una necesidad del mercado” [7]. Sin importar el tipo de producto o proceso a ser diseñado, hay una serie de fases establecidas para desarrollar el diseño [8] que pueden ser representadas esquemáticamente como [9]:



Donde las etapas mencionadas en el diagrama pueden traducirse: [7, 9, 10]

1. **MERCADO/IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD:** Frecuentemente, el diseño comienza cuando un individuo o compañía reconoce una necesidad, o identifica un mercado potencial para un producto, servicio o proceso. También puede considerarse “necesidad” cuando una compañía decide desarrollar la re-ingeniería de un producto existente (por ejemplo, produciendo un nuevo modelo de auto). En definitiva, el término necesidad se refiere a una brecha en el mercado.
2. **DEFINICIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:** Las Especificaciones Técnicas (PDS: Product Design Specification) traducen la voz del consumidor y establecen los requisitos que el producto/servicio a diseñar deben cumplir, por lo tanto el PDS es el documento que controla todo el proceso de diseño. El PDS es dinámico: si durante el proceso de diseño ocurren cambios en el mercado, estos deben ser reflejados en el documento. El PDS debe ser comprensible y sin ambigüedades. Al final del proceso de diseño, el producto/servicio debe ser comparado con el PDS. Un PDS pobre generalmente conlleva al diseño de un producto que fallará en el mercado, mientras que si bien un buen PDS no garantiza el éxito del producto, al menos ofrece mayores posibilidades de alcanzar el objetivo.
3. **DISEÑO CONCEPTUAL:** Es la generación de soluciones que satisfagan el PDS, representando esquemáticamente todos los subsistemas y partes componentes que las conforman. El resultado de

esta etapa debe ser el concepto completo de la solución. En la práctica, generalmente es en forma de lay-outs, dibujos en papel o un modelo CAD.

4. DISEÑO DETALLADO/DISEÑO TÉCNICO: En esta etapa se diseñan técnicamente los componentes y subsistemas que forman la solución. De ser necesarios se realizan estudios estáticos, cinemáticos, dinámicos y se aplican herramientas tales como resistencia de materiales y teoría de la elasticidad. En esta epata se realizan iterativamente los procesos de: síntesis (resolver en conjunto), análisis (resolver en partes), optimización y evaluación.
5. FABRICACIÓN: Se establece el método de fabricación más adecuado.
6. VENTA: El producto/servicio satisface la necesidad del mercado.

## 1.7 - REFERENCIAS

- [1] Dirección de Información Parlamentaria del Congreso de la Nación - *Reseña de Legislación, Personas Con Discapacidad - Legislación Nacional vigente*
- [2] Davis et al. – *Diseño de Asientos Especiales para Personas con Parálisis Cerebral*
- [3] Centro de Ortopedia Técnica Pozuelo – *Principios de Biomecánica para Psocionamiento en Sillas de Ruedas*
- [4] Parent et al. (1998) – *The Flexible Contour Backrest: A new Design Concept for Wheelchairs*
- [5] Agence d'Évaluation des Technologies et des Modes d'Intervention en Santé (2003) – *Postural-Support Devices*
- [6] Multiple Sclerosis Trust – *Are you Sitting Comfortably?* – ([www-mstrust-org-uk](http://www-mstrust-org-uk))
- [7] Childs, P. - *Mechanical Design* – Elsevier, 2ªedición, 2004
- [8] Ullman, D. G. – *Handbook of the Mechanical Design Process* – McGraw Hill, 4ªedición, 2010
- [9] Pugh, S. - *Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering* - Addison Wesley Publishing Company, 1991
- [10] Department of Mechanical Engineering, University of Puerto Rico – *Engineering Desigh Methodology*

## 2 - ESTUDIO PRELIMINAR

### 2.1 - ESTUDIO SOBRE DISCAPACIDAD

#### 2.1.1 - Definición

Según la Organización Mundial de la Salud:

“Discapacidad” es un término general que abarca las deficiencias, las limitaciones de la actividad y las restricciones de la participación. Las deficiencias son problemas que afectan a una estructura o función corporal; las limitaciones de la actividad son dificultades para ejecutar acciones o tareas, y las restricciones de la participación son problemas para participar en situaciones vitales. Por consiguiente, la discapacidad es un fenómeno complejo que refleja una interacción entre las características del organismo humano y las características de la sociedad en la que vive. [1]

#### 2.1.2 - Panorama Mundial y Nacional

“Se estima que más de mil millones de personas viven con algún tipo de discapacidad, lo que representa alrededor del 15% de la población mundial, según las estimaciones de la población mundial en 2010” [2]

La Primera Encuesta Nacional de Personas con Discapacidad fue realizada por el INDEC entre los años 2002 - 2003, y relevó datos de todos los centros urbanos de la Argentina que tenían 5.000 habitantes o más. Dicho censo revela que del total de 30.757.628 ciudadanos, 2.176.123 sufren algún tipo de discapacidad, lo que representa aproximadamente el 7,1% de la población relevada. [3]

Durante el último censo nacional realizado en los años 2010-2011, se abordó con mayor énfasis la temática incorporando nuevas preguntas para determinar el tipo de limitación además de actualizar el porcentaje de habitantes con discapacidad. En este caso se relevó el total de la población del país que habitan en viviendas particulares, no incluyéndose personas en situación de calle. El estudio incluye tanto a las personas que cuentan con certificado de discapacidad como a aquellas que no lo poseen pero declaran tener alguna dificultad o limitación permanente para ver, oír, moverse, entender o aprender. Los resultados del censo arrojan que 5.114.190 personas poseen algún tipo de dificultad o limitación permanente, representando el 12,9% de la población argentina. [4] En particular, 1.931.046 personas declararon tener dificultad motora inferior permanente (37,8% de la población con discapacidad). [5]

### 2.1.3 - Marco Legal

Durante las últimas décadas se han desarrollado a escala internacional numerosos pactos, convenciones y normativas que demuestran un cambio de paradigma frente a la discapacidad no solo aceptándola como tal y haciéndola visible, sino también fomentando la plena integración y desarrollo de las personas con discapacidad en todas las áreas de la vida. Como lo plantea La Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad: “es la reacción de la comunidad internacional ante el largo historial de discriminación, exclusión y deshumanización de las personas con discapacidad”.

Entre los documentos del marco internacional e interamericano se encuentran:

- Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (2008)
- Convención Interamericana para la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación contra las Personas con Discapacidad (1999)
- Carta de las Naciones Unidas (1945)
- Declaración Universal de los Derechos Humanos (1948)
- Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos (1966)
- Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (1966)
- Normas Uniformes sobre la Igualdad de Oportunidades para las Personas con Discapacidad de las Naciones Unidas (1993)
- Hacia una sociedad para todos: Estrategia a largo plazo para promover la aplicación del Programa de Acción Mundial para los Impedidos hasta el Año 2000 y Años Posteriores (1995)
- Principios para la protección de los Enfermos Mentales y el Mejoramiento de la Atención de la Salud Mental, Organización de las Naciones Unidas (1991)
- Programa de Acción Mundial para las Personas con Discapacidad, Organización de las Naciones Unidas (1982)
- C159. Convenio sobre la readaptación profesional y el Empleo (personas inválidas), Organización Internacional del Trabajo (1983)
- Programa de Acción para el Decenio de las Américas: Por los derechos y la dignidad de las personas con discapacidad (2006-2016)
- Resolución CD47.R1. La discapacidad: Prevención y rehabilitación en el contexto del derecho al disfrute del más alto nivel posible de salud física y mental y otros derechos relacionados, Organización Panamericana de la Salud (2006)
- Compromiso de Panamá con las personas con discapacidad en el continente americano (1996) [6]

Particularmente, la legislación argentina ha avanzado en línea paralela al marco legal internacional, aprobándose una serie de leyes que garantizan los derechos de las personas con discapacidad. La siguiente reseña legislativa ha sido publicada por la Dirección de Información Parlamentaria del Congreso de la Nación.

#### Sistema de Protección Integral:

- v LEY 22.431 (Sanción y promulgación: 16/03/1981)
  - § DECRETO 498/83 (01/03/1983)
  - § RESOLUCION 266/88 (SS) (13/05/1988)
  - § LEY 23.021 (Sanción y promulgación: 07/12/1983)
  - § LEY 23.876 (Sanción: 28/09/1990; Promulgación: 24/10/1990)
  - § LEY 24.308 (Sanción: 23/12/1993; Promulgación: 11/01/1994)
    - ◆ DECRETO 795/94 (23/05/1994)
    - ◆ RESOLUCION 810/2001 (23/10/2001)
  - § LEY 24.314 (Sanción: 15/03/1994; Promulgación: : 08/04/1994)
  - § DECRETO 1027/94 (29/06/1994)
  - § DECRETO 914/97 (11/09/1997)
    - ◆ DECRETO 467/98 (29/04/1998)
  - § LEY 25.504 (Sanción: 14/11/01; Promulgación: art.80 de constitución nacional 12/12/01)
  - § LEY 25.634 (Sanción: 01/08/2002; Promulgación: 26/08/2002)
  - § LEY 25635 (Sanción: 01/08/2002; Promulgación: 26/08/2002)
  - § LEY 25689 (Sanción: 28/11/2002; Promulgación: 02/01/2003)

#### Sistema de Prestaciones Básicas:

- v LEY 24901 (Sanción: 05/11/1997; Promulgación: 02/12/1997)
  - § DECRETO 1193/98 (08/10/1998)
- v RESOLUCIÓN 400/99 (APE) (16/02/1999)
  - § RESOLUCION 6080/2003 APE (17/09/2003)
  - § RESOLUCIÓN 5700/2004 APE
- v RESOLUCIÓN 17.562/2004 APE (29/12/2004)
- v RESOLUCIÓN 3/99 SPBAIFPD (5/10/99)
  - § RESOLUCIÓN 15/2000 SPBAIFPD (17/10/2000)
  - § RESOLUCIÓN 17/2000 SPBAIFPD (7/11/2000)
  - § RESOLUCIÓN 20/2001 SPBAIFPD (03/07/2001)
  - § RESOLUCIÓN 213/2001 SSS (05/06/2001)
    - ◆ RESOLUCIÓN 568/2003 SSS (29/7/2003)
- v RESOLUCIÓN 428/99 MSAS (23/06/1999)
  - § RESOLUCIÓN 18/2001 SPBAIFPD (14/11/2001)
  - § RESOLUCIÓN 271/03 MS (02/09/2003)
  - § RESOLUCIÓN 36/03 MS (12/6/2003)
- v RESOLUCIÓN 705/2000 MS (29/08/2000)
- v RESOLUCIÓN 1/2003 SPBAPD ( 16/4/2003)
- v DISPOSICIÓN 1216/2002 SNRyPPD (11/12/2002)
- v DECRETO 1277/2003 (23/05/2003)
  - § DECRETO 1085/03 (19/11/2003)
- v RESOLUCIÓN 3/2003 SPBAPD (29/4/2003)
- v RESOLUCIÓN 44/2004 SPBAPD (12/10/2004)
- v DECRETO 449/2005 (4/5/2005)
- v RESOLUCIÓN 676/2005 MSA.( 15/6/2005)

#### Empleo:

- v LEY 22431 (Sanción y promulgación: 16/03/1981)
  - § DECRETO 498/83 (01/03/1983)
- v RESOLUCION 67/98 (SFP) (05/05/1998)

- v LEY 23021 (Sanción y promulgación: 07/12/1983)
- v LEY 24.308 (Sanción: 23/12/1993; Promulgación: 11/01/1994)
  - § DECRETO 795/94 (23/05/1994)
  - § RESOLUCION 810/2001 MTEFRH (23/10/2001)
- v DECRETO 1027/94 (29/06/1994)
- v RESOLUCION 137/98 (SFP) (24/08/1998)
- v RESOLUCIÓN 426/98 (MTSS) (15/07/1998)
- v LEY 24013 (Sanción: 13/11/1991; Promulgación: 05/12/1991; Vetada parcialmente)
- v LEY 24465 (Sanción: 15/03/1995; Promulgación: 23/03/1995)
  - § LEY 25.013 (Sanción: 02/09/1998; Promulgación: 22/09/1998. Vetada parcialmente)
- v DECRETO 230/99 (16/03/1999) B.O. 23/03/1999
- v LEY 25.212 (Sanción: 24/11/1699; Promulgación: 23/12/1999)
- v LEY 25785 (Sanción: 01/10/2003; Promulgación: 30/10/2003)
- v RESOLUCIÓN 812/2004 SE (08/10/2004)
- v RESOLUCIÓN 802/2004 MTESS (01/11/2004)
- v RESOLUCIÓN 575/2005 MTESS (1/8/2005)

#### Empleo (Talleres Protegidos de Producción):

- v LEY 24.147 (Sanción: 29/09/1992; Promulgación: 21/10/1992)
  - § RESOLUCION 355/97 (MTSS) (03/06/1997)
  - § RESOLUCION 386/97 (SECL) (11/08/1997)
    - ◆ RESOLUCION 405/97 (SESS) (27/08/1997)
  - § RESOLUCION 588/97 (SECL) (17/11/1997)
  - § RESOLUCIÓN 339/98 (MTSS) (11/05/1998)
  - § RESOLUCION 39/98 (DNPEC) (08/197/1998)
- v DECRETO 1125/2001 (31/08/2001)
  - § DECRETO 318/2004 (15/03/2004)

#### Programas y Planes Sociales:

- v RESOLUCION 1656/97(SC) (21/10/1997)
  - § RESOLUCION 1700/97 (SC) (23/10/1997)
- v LEY 25724 (Sanción: 27/12/2002; Promulgación: 16/01/2003)
  - § DECRETO 1018/2003 (28/04/2003)
- v LEY 25785 (Sanción: 01/10/2003; Promulgación: 30/10/2003)

#### Premios y Reconocimientos:

- v DECRETO 1149/1998 (29/9/1998)
  - § DECRETO 720/2000 (25/08/2000)
- v LEY 25211 (Sanción: 24/11/1999; Promulgación: 27/12/1999)
- v LEY 25346 (Sanción: 25/10/2000; Promulgación: Art.80 de Constitución Nacional 20/11/2000)
- v LEY 25211 (Sanción: 24/11/1999; Promulgación: 27/12/1999)

#### Protección:

- v LEY 23592 (Sanción: 03/08/1988; Promulgación: 23/08/1988)
- v LEY 24417 (Sanción: 07/12/1994; Promulgación: 28/12/1994)
  - § DECRETO 235/96 (07/03/1996)

- § RESOLUCION 25/98 (SATL) (07/04/98)
- ∇ DECRETO 1382/01 (01/11/2001)
- § DECRETO 1407/2001 (04/11/2001)
- ∇ DECRETO 1604/2001 (05/12/2001)
- Eximición de Impuestos:
- ∇ RESOLUCIÓN 1388/97 (MEOSP) (5/12/1997)
- § RESOLUCION 953/99 (MEOSP) (03/08/1999)
- Convenios Internacionales:
- ∇ LEY 23.462 (Sanción: 29/10/1986; Promulgación: 01/12/1986)
- § LEY 25.280 (Sanción: 06/07/2000; Promulgación: 31/07/2000)
- Beneficios para el Transporte Público:
- ∇ LEY 13.642 (Sanción: 30/09/1949; Promulgación: 15/10/1949)
- § DECRETO 3074/50
- § DECRETO 8194/68
- ∇ LEY 22.431 (Sanción y promulgación: 16/03/1981)
- § DECRETO 498/83 (01/03/1983)
- ∇ LEY 23.876 (Sanción: 28/09/1990; Promulgación: 24/10/1990)
- ∇ LEY 24.314 (Sanción: 15/03/1994; Promulgación 08/04/1994)
- § DECRETO 914/97 (11/09/1997)
- ◆ DECRETO 467/98 (29/04/1998)
- § LEY 25.635 (Sanción: 01/08/2002; Promulgación: 26/08/2002)
- ◆ DECRETO 38/2004 ( 09/01/2004 )
- ◆ RESOLUCIÓN 31/2004 ST ( 21/01/2004)
- Automotores:
- ∇ LEY 19.279 (Sanción y promulgación: 04/10/1971)
- § LEY 22.499 (Sanción y promulgación: 22/09/1981)
- § LEY 24.183 (Sanción: 04/11/1992; Promulgación: 25/11/1992)
- § DECRETO 1313/93 (24/06/1993)
- ◆ RESOLUCION GENERAL 3711 (D.G.I.) (20/07/1993)
- § LEY 24.314 (Sanción: 15/03/1994; Promulgación: 08/04/1994)
- § LEY 24.844 (Sanción: 11/06/1997; Promulgación: 11/07/1997)
- § RESOLUCION 4085/95 (DGI) (20/11/1995)
- ∇ DECRETO 1078/90 (06/06/90)
- ∇ RESOLUCION 84/93 (SI) (27/12/1993)
- ∇ RESOLUCION 795/94 (ANA) (30/03/1994)
- ∇ LEY 24.314
- ∇ LEY 24.449 (Sanción: 23/12/1994; Promulgación: parcial 06/02/1995)
- § DECRETO 779/95 (20/11/1995)
- Accesibilidad:
- ∇ LEY 24.314 (Sanción: 15/03/1994; Promulgación: 08/04/1994)
- § DECRETO 914/97 (11/09/1997)
- ◆ DECRETO 467/98 (29/04/1998)
- ∇ LEY 24.449 (Sanción. 23/12/1994; Promulgación: 06/02/1995 Vetada parcialmente)
- ∇ LEY 25.573 (Sanción: 11/04/2002; Promulgación: 26/04/2002)
- Accesibilidad - Transporte Público de Pasajeros:
- ∇ LEY 24.314 (Sanción: 15/03/1994; Promulgación 08/04/1994)

- § DECRETO 914/97 (11/09/1997)
- ◆ DECRETO 467/98 (29/04/1998)
- § RESOLUCION 426/98 ST (09/12/1998)
- § LEY 25.634 (Sanción: 01/08/2002; Promulgación: 26/08/2002)
- ∇ RESOLUCION 295/97 (CNRT) (22/05/1997)
- ∇ RESOLUCION 244/98 (ST) (23/07/1998)
- ∇ RESOLUCION 98/99 ST (31/03/1999)
- ∇ LEY 25.644 (Sanción: 15/08/2002; Promulgación: 11/09/2002)
- ∇ RESOLUCIÓN 417/2003 ST (16/12/2003)
- ∇ RESOLUCIÓN 346/2004 CNRT (24/03/2004)
- Accesibilidad – Turismo:
- ∇ LEY 25.643 (Sanción: 15/08/2002; Promulgación: 11/09/2002)
- Ciegos y Amblíopes:
- ∇ LEY 13.586 (Sanción: 29/09/1949; Promulgación: 11/10/1949)
- ∇ LEY 13.642 (Sanción: 30/09/1949; Promulgación: 15/10/1949)
- § DECRETO 3074/50
- § DECRETO 8194/68
- ∇ LEY 15.402 (Sanción: 27/09/1960)
- ∇ LEY 20.888 (Sanción: 30/09/1974; Promulgación: 22/10/1974)
- § LEY 24.017 (Sanción: 13/11/1991; Promulgación: 05/12/1991)
- § LEY 24.175 (Sanción: 30/9/1992; Promulgación: 26/10/1992 - Parcial)
- § LEY 24.241 (Sanción: 23/09/1993; Promulgación: 13/10/1993 - Parcial)
- ∇ DECRETO 2286/80 (03/11/1980)
- ∇ LEY 25.682 (Sanción: 27/11/2002; Promulgación: 27/12/2002)
- Ciegos y Amblíopes - Perros Guías:
- ∇ DECRETO 5417/64 (21/07/64)
- ∇ RESOLUCION 533/83 (MOSP) (10/06/83)
- ∇ RESOLUCIÓN 31/2004 ST ( 21/01/2004)
- ∇ DECRETO 38/2004 ( 09/01/2004)
- Sordos e Hipoacústicos:
- ∇ DISPOSICIÓN 1168/97 (INCAA) (05/08/1997)
- § RESOLUCION 1206/97 (INCAA) (11/08/1997)
- ∇ LEY 25.415 (Sanción: 04/04/2001; Promulgación: 26/04/2001 - Parcial)
- Sordos e Hipoacústicos - Telefonía:
- ∇ LEY 24.204 (Sanción: 19/05/1993; Promulgación: 17/06/1993)
- ∇ LEY 24.421 (Sanción: 07/12/1994; Promulgación: 05/01/1995)
- ∇ RESOLUCIÓN 26878/96 (SC) (27/12/1996)
- § RESOLUCIÓN 48/97 (SC) (13/01/1997)
- § RESOLUCIÓN 2151/97 (SC) (15/07/1997)
- § RESOLUCIÓN 3210/99 (SC) (19/11/1999)
- ∇ RESOLUCIÓN 2505/98 (SC) (18/11/1998) [7]

#### 2.1.4 - Normas

El Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) ha desarrollado un conjunto de normas sobre Accesibilidad de las personas al medio físico, las cuales se basan en la adopción de soluciones que permitan satisfacer tanto necesidades comunes, como específicas, de las personas con movilidad reducida o capacidades diferentes, con el fin de lograr una efectiva integración de toda la población. [8]

- IRAM3722 (02/12/1991): Símbolo de acceso para personas con discapacidad motora.
- IRAM3741 (01/08/1995): Seguridad para discapacitados visuales. Señal táctil de peligro en envases de productos para uso doméstico.
- IRAM111100 (25/06/1999): Edificios. Accesibilidad de las personas al medio físico. Circulaciones horizontales. Requisitos.
- IRAM111101 (31/08/2004): Accesibilidad de las personas al medio físico. Edificios - Rampas fijas.
- IRAM111102-1 (10/07/2002): Accesibilidad de las personas al medio físico. Espacios urbanos. Edificios con acceso de público. Señalización.
- IRAM111102-2 (05/12/2002): Accesibilidad de las personas al medio físico. Señalización para personas con discapacidad visual en espacios urbanos y en edificios con acceso de público. Señalización en solados y planos hápticos.
- IRAM111103 (10/07/2003): Accesibilidad de las personas al medio físico. Edificios - Escaleras.
- IRAM111104 (31/08/2004): Accesibilidad de las personas al medio físico. Edificios. Equipamientos. Agarraderas, bordillos y pasamanos.
- IRAM111106 (17/06/2005): Accesibilidad de las personas al medio físico. Espacios urbanos y edificios. Estacionamientos.
- IRAM111107 (25/08/2005): Accesibilidad de las personas al medio físico. Equipamientos. Grifería. Criterios de selección.
- IRAM111108 (27/12/2007): Accesibilidad de las personas al medio físico. Vados y rebajes de cordón.
- IRAM111109 (15/10/2009): Accesibilidad de las personas al medio físico. Puertas accesibles.
- IRAM111110 (15/05/2009): Accesibilidad de las personas al medio físico. Espacios urbanos y edificios. Servicios sanitarios accesibles.
- IRAM111112 (24/09/2010): Accesibilidad de las personas al medio físico. Cocinas accesibles.
- IRAM10051 (07/12/2007): Rampas para el ingreso y egreso de personas con movilidad reducida a vehículos para el transporte de pasajeros con capacidad superior a nueve plazas.
- IRAM10052 (18/10/2010): Plataformas elevadoras para el ingreso y egreso de personas en silla de ruedas a vehículos para el transporte de pasajeros con capacidad superior a nueve plazas.

## 2.2 - ESTUDIO SOBRE SILLA DE RUEDAS

### 2.2.1 - Definición

Es una ayuda técnica que posibilita, a aquellas personas cuya capacidad para caminar se encuentre limitada, moverse con independencia y dignidad. Así mismo, la utilización de sillas de ruedas beneficia a los usuarios a mantenerse saludables y les permite una completa participación en la vida en comunidad. [9]

### 2.2.2 - Necesidad de Sillas de Ruedas

Se estima que 1% de la población mundial (10% de las personas con discapacidad) necesitan sillas de ruedas. Esta cifra representa cerca de 65 millones de personas, de las cuales 20 millones no las poseen, según estudios realizados en el 2003. Por lo tanto hay indicadores de que solo algunas de las personas que necesitan usar sillas de ruedas tienen acceso a ellas, y de éstas solo una minoría tiene acceso a una silla de ruedas APROPIADA. [10]

### 2.2.3 - ¿Qué es una Silla de Ruedas APROPIADA?

Una silla de ruedas es apropiada cuando [10]:

- Satisface la necesidad del usuario y su ambiente;
- Proporciona calce y soporte postural adecuado;
- Es segura y durable;
- Esta disponible en el país,
- Puede ser obtenida y mantenida a un costo accesible.

### 2.2.4 - Derecho a la Silla de Ruedas y Ayudas Técnicas

A seguir se citan dos importantes declaraciones internacionales que crean derechos a la silla de ruedas porque es universalmente reconocido que **una silla de ruedas apropiada es una precondition para garantizar la igualdad de oportunidades y derechos, y para asegurar la inclusión y participación en la vida en sociedad.**

El artículo 20 de la Convención de los Derechos de las Personas con Discapacidad se refiere a la movilidad personal y enuncia [6]:

*Los Estados Partes adoptarán medidas efectivas para asegurar que las personas con discapacidad gocen de movilidad personal con la mayor independencia posible, entre ellas:*

- a) Facilitar la movilidad personal de las personas con discapacidad en la forma y en el momento que deseen a un costo asequible;*
- b) Facilitar el acceso de las personas con discapacidad a formas de asistencia humana o animal e intermediarios, tecnologías de apoyo, dispositivos técnicos y ayudas para la movilidad de calidad, incluso poniéndolos a su disposición a un costo asequible;*
- c) Ofrecer a las personas con discapacidad y al personal especializado que trabaje con estas personas capacitación en habilidades relacionadas con la movilidad;*
- d) Alentar a las entidades que fabrican ayudas para la movilidad, dispositivos y tecnologías de apoyo a que tengan en cuenta todos los aspectos de la movilidad de las personas con discapacidad.*

El artículo 4 de las Normas Uniformes sobre la Igualdad de Oportunidades para las Personas con Discapacidad de las Naciones Unidas, está referido a los servicios de apoyo y enuncia [6]:

*Los Estados deben velar por el establecimiento y la prestación de servicios de apoyo a las personas con discapacidad, incluidos los recursos auxiliares, a fin de ayudarles a aumentar su nivel de autonomía en la vida cotidiana y a ejercer sus derechos.*

...

*2. Los Estados deben apoyar el desarrollo, la fabricación, la distribución y los servicios de reparación del equipo y los recursos auxiliares, así como la difusión de los conocimientos al respecto.*

En cuanto respecta a Argentina, la Ley Nacional N° 24.901 reglamenta el sistema de prestaciones básicas en habilitación y rehabilitación integral a favor de las personas con discapacidad, en particular los artículos referidos a rehabilitación motora son [7]:

*ARTICULO 2º-Las obras sociales, comprendiendo por tal concepto las entidades enunciadas en el artículo 1º de la ley 23.660, tendrán a su cargo con carácter obligatorio, la cobertura total de las prestaciones básicas enunciadas en la presente ley, que necesiten las personas con discapacidad afiliadas a las mismas.*

*ARTICULO 3º- (...) El Estado, a través de sus organismos, prestará a las personas con discapacidad no incluidas dentro del sistema de las obras sociales, en la medida que aquellas o las personas de quienes dependan no puedan afrontarlas, los siguientes servicios.*

*ARTICULO 27.-Rehabilitación motora. Rehabilitación motora es el servicio que tiene por finalidad la prevención, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades discapacitantes de orden predominantemente motor.*

*a) Tratamiento rehabilitatorio: las personas con discapacidad ocasionada por afecciones neurológicas, osteo-articulomusculares, traumáticas, congénitas, tumorales, inflamatorias, infecciosas, metabólicas, vasculares o de otra causa, tendrán derecho a recibir atención especializada, con la duración y alcances que establezca la reglamentación:*

*b) Provisión de órtesis, prótesis, ayudas técnicas u otros aparatos ortopédicos: se deberán proveer los necesarios de acuerdo con las características del paciente, el período evolutivo de la discapacidad, la integración social del mismo y según prescripción del médico especialista en medicina física y rehabilitación y/o equipo tratante o su eventual evaluación ante la prescripción de otro especialista.*

Al ser Argentina uno de los Estados partes de la Convención de los Derechos de las Personas con Discapacidad (2006), sancionada y promulgada en el 2008 la Ley Nacional N° 26.378 que aprueba dicha Convención, debe cumplir con lo que en ella se enuncia, entre ellos el artículo 20 anteriormente mencionado [7].

## 2.2.5 - Normas

La Organización Internacional de Normalización (ISO), ha desarrollado la serie N° 7176 referida a sillas de ruedas que consiste en las siguientes partes [11]:

*Part 1: Determination of static stability*

*Part 2: Determination of dynamic stability of electric wheelchairs*

*Part 3: Determination of efficiency of brakes*

*Part 4: Energy consumption of electric wheelchairs and scooters for determination of theoretical distance range*

*Part 5: Determination of overall dimensions, mass and turning space*

*Part 6: Determination of maximum speed, acceleration and retardation of electric wheelchairs*

*Part 7: Measurement of seating and wheel dimensions*

*Part 8: Static, impact and fatigue strengths — Requirements and test methods*

*Part 9: Climatic tests for electric wheelchairs*

*Part 10: Determination of the obstacle-climbing ability of electric wheelchairs*

*Part 11: Test dummies*

*Part 13: Determination of coefficient of friction of test surfaces*

*Part 14: Power and control systems for electric wheelchairs — Requirements and test methods*

*Part 15: Requirements for information disclosure, documentation and labelling*

*Part 16: Resistance to ignition of upholstered parts — Requirements and test methods*

*Part 17: Serial interface for electric wheelchair controllers*

*Part 18: Stair-traversing devices*

*Part 19: Wheeled mobility devices for use in motor vehicles*

*Part 20: Determination of the performance of stand-up type wheelchairs*

*Part 21: Electromagnetic compatibility of powered wheelchairs and motorized scooters — Requirements and test methods*

*Part 22: Setup procedures*

Los requerimientos en la serie ISO 7176 no refleja las condiciones típicas de un entorno de escasos recursos, ya que fueron diseñadas para simular las condiciones en la ciudad. Se recomienda que las autoridades de los gobiernos desarrollen y adopten estándares nacionales, considerando: los ambientes, pesos y tamaños de los usuarios típicos; y que sean aplicados a todas las sillas de ruedas que son suministradas en el país. Esto incluye tanto las sillas de ruedas producidas en el país como las importadas, ya sean donadas o compradas. [9]

## 2.3 - BIOMECANICA DE LA SILLA DE RUEDAS

[12]

### 2.3.1 - Factores que Afectan a la Movilidad

Una silla de ruedas debe tener como objetivo permitir al usuario la máxima funcionalidad, comodidad y movilidad. Para cumplir con este objetivo, la silla debe estar pensada para ajustarse a la persona, no es la persona la que debe amoldarse a su silla. Si se escoge una silla de ruedas no apropiada, puede resultar incómoda o por ejemplo tener un asiento en el que el usuario resbale hacia delante o se incline hacia un lado. El resultado será que la energía del usuario se malgastará de manera innecesaria debido al esfuerzo continuado por modificar su postura. Una silla de ruedas inapropiada puede incluso provocar una discapacidad extra.

A menudo se considera que lo que más afecta a la maniobrabilidad de la silla son su peso y el material con el que esté hecha su estructura. Sin embargo, hay factores más importantes como el asiento y la postura que de él se derive, la distancia entre ejes de las ruedas, la posición y el tamaño de las ruedas, incluso la forma en que la silla ha sido ajustada o montada, que pueden influir decisivamente en la funcionalidad y movilidad del usuario.

Empezamos analizando los factores que afectan a la MOVILIDAD-ROZAMIENTO. Cuanto mayor sea el rozamiento, la resistencia a rodar de la silla será superior, y por lo tanto el usuario requerirá mayor energía para su propulsión. Analizaremos como afectan a la facilidad para rodar los siguientes factores:

- La distribución del peso entre las ruedas delanteras y traseras. Mayor peso sobre las ruedas delanteras provocan mayor rozamiento, pero al mismo tiempo hace que la silla sea más estable. Una silla de ruedas estándar tiene una distribución del peso de 50/50%, mientras que una silla ligera ajustable (según el ajuste) tiene una distribución del peso de 80% en la rueda trasera y 20% en la delantera (aproximadamente). Esto hace que ruede mejor que una estándar pero que sea menos estable.
- El terreno sobre el que la silla va a ser utilizada. El terreno blando produce un mayor rozamiento y por lo tanto exige mayor esfuerzo para propulsar la silla. El rozamiento es menor en terrenos o superficies duras.
- Tamaño y composición de las ruedas: Las ruedas neumáticas resultan más cómodas al amortiguar mejor, pero oponen una mayor resistencia a rodar por ser más blandas. La resistencia es inferior en ruedas con cubiertas macizas por ser más duras. Las ruedas pequeñas tienen menor rozamiento por tener menos superficie de contacto con el suelo, pero esto mismo hace que presenten peor agarre. Ruedas más grandes tienen mejor agarre por tener una superficie de contacto mayor pero también produce un rozamiento superior.
- Tamaño de las ruedas delanteras: Las ruedas grandes son más recomendables para exteriores, y suelos accidentados. Las ruedas pequeñas son mejores para su uso en interiores y para la práctica de deportes por su mayor rapidez de giro en superficies lisas y duras. Sin embargo el tamaño adecuado, está determinado por la combinación entre la superficie sobre la cual será utilizada y la distribución del peso en la silla. Por eso, una rueda pequeña en una silla con una distribución del peso 50/50% daría un elevado rozamiento.
- Centro de gravedad de la silla: Al mover el centro de gravedad hacia atrás y hacia arriba se aumenta el peso sobre las ruedas traseras y hace que la silla sea más fácil de manejar pero más inestable. Si se desplaza el centro de gravedad hacia abajo y hacia delante, la silla gana en estabilidad pero es más difícil de manejar. Normalmente se puede llegar a un compromiso según las necesidades del usuario. Puede ser necesario introducir dispositivos de seguridad como ruedas anti-vuelco.
- Distancia entre ejes de ruedas delanteras y traseras: Una distancia larga entre ejes mantiene mejor el rumbo (por eso las sillas de carreras son muy alargadas). Una distancia entre ejes corta resulta más suave y fácil de manejar (por eso las sillas de baloncesto tienden a tener esta distancia más corta).

- Inclinación de las ruedas traseras: Si las ruedas tienen un ángulo positivo (mayor anchura en la base) la silla mantendrá mejor el rumbo, será más estable y la postura de los hombros será mejor (brazos más pegados al cuerpo para propulsar). El inconveniente es que así se aumenta la anchura total de la silla, por eso solo se usa para sillas deportivas. Una inclinación neutra (ruedas paralelas a la silla) es menos eficaz desde el punto de vista de la facilidad para rodar. Una inclinación negativa (menor anchura en la base) hace que la postura de los hombros sea peor y la silla será más inestable.
- Ángulo de las ruedas delanteras: Después de cualquier cambio en las ruedas traseras o en la altura del armazón, hay que comprobar siempre que las delanteras están a 90°. Si el ángulo es más abierto (superior a 90°) la silla girará más rápido pero al detenerse tenderá a irse hacia atrás y la parte delantera del armazón quedará más elevada. Si el ángulo es inferior a 90° se dificulta el giro. Cuando se quiere detener la silla, esta tiende a seguir rodando, y la parte delantera de la silla queda más baja que la trasera.

### 2.3.2 - Factores que Afectan a la Propulsión

El montaje de la silla de ruedas debe procurar una propulsión eficaz junto con un gasto mínimo de energía. Cada usuario debido a sus circunstancias personales tiene una capacidad de propulsión distinta y a veces limitada. Por eso se deben tener en cuenta los siguientes factores importantes que permitirán buscar la composición de silla que cada usuario necesita, para poder optimizar la propulsión dentro de sus posibilidades.

#### 1. Gamas de movimiento:



El grado de movilidad que tenga el usuario en la columna, hombro, codo, muñeca y dedos delimitará la posibilidad de realizar todo el recorrido de propulsión óptimo. En caso de tener una buena movilidad en estas articulaciones, el recorrido más eficaz es el indicado en la Figura 1. Iniciando por detrás del tronco hasta terminar a la altura de los muslos. De esta forma se aprovecha la flexión de los músculos del brazo que permiten aplicar la fuerza.

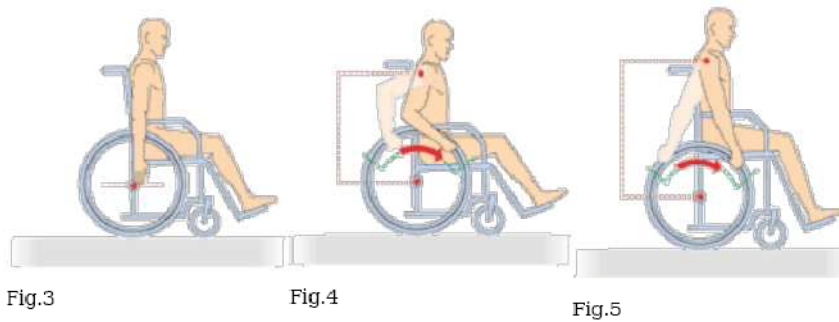
#### 2. Postura:



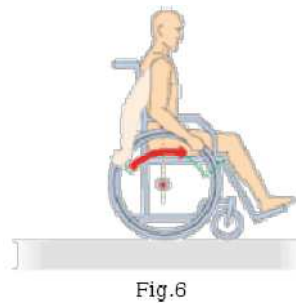
Para poder propulsarse correctamente y aprovechar toda la energía de esta propulsión, el usuario debe estar correctamente sentado (erguido) en una posición sentada simétrica. Solo así podrá llegar adecuadamente a los aros de empuje y realizar el movimiento completo del brazo, para iniciar la propulsión de la rueda desde atrás, aplicando fuerza en todo el recorrido. Si el usuario se desliza en el asiento, los aros quedarán demasiado altos y le resultará muy incómodo iniciar la propulsión desde atrás, por lo que tenderá a iniciarla adelantado en el recorrido. De esta forma la propulsión será más corta y menos eficiente.

### 3. Altura y posición de las ruedas:

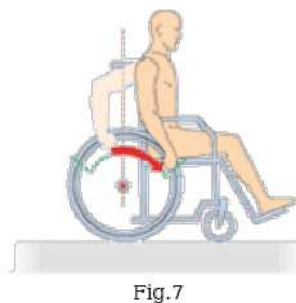
Para lograr una propulsión más eficaz, las ruedas traseras deben estar situadas de forma que el usuario con el hombro relajado y dejando caer el brazo estirado, pueda tocar con la punta de los dedos el eje de la rueda trasera. (Fig. 3) Si el eje de la rueda queda más alto de lo indicado, el aro de empuje le quedará también alto, y el usuario deberá flexionar demasiado los brazos para propulsarse (Fig. 4). La propulsión será más incómoda e ineficiente. Lo mismo ocurre si el eje de la rueda está más bajo que la punta de los dedos. El usuario deberá realizar la propulsión con los brazos demasiado estirados, y no podrá realizar la fuerza necesaria para la propulsión correcta (Fig. 5).



Esta misma regla marca también la posición óptima de la rueda. Si la rueda está adelantada y el eje queda por delante de los dedos, el usuario iniciará la propulsión demasiado atrás y no podrá completar todo el recorrido (Fig. 6).



Si el eje queda por detrás de los dedos, el usuario empezará la propulsión adelantado y por lo tanto tendrá un recorrido más corto (menos eficiente) (Fig. 7).



La posición de la rueda trasera afecta también a la estabilidad de la silla. Si la rueda está más retrasada la silla será más estable (caso de sillas estándar) pero también requiere mayor energía para la propulsión. Las sillas ligeras tienden a tener las ruedas traseras más adelantadas que la silla estándar. De esta forma necesita menor fuerza de palanca y menor energía para su propulsión.

#### 4. Tamaño de la rueda:

La rueda trasera más pequeña permite aplicar menor esfuerzo para propulsarla, pero también realiza un recorrido más corto. Se suelen utilizar ruedas inferiores a 600 mm (24") en usuarios con dificultad de movimiento en los hombros o columna quifótica. También se utilizan ruedas más pequeñas en sillas de niños para que el aro de empuje quede a una altura más adecuada a la longitud de sus brazos.

#### 5. Distancia entre ejes:

Una distancia larga entre ejes trasero y delantero permite mantener un rumbo más recto, pero también las ruedas recorren mayor distancia por lo que es necesaria más energía para su propulsión.

Una distancia de ejes corta gira con mayor facilidad y se maneja más fácil al requerir menor gasto de energía para su propulsión.

#### 6. Inclinación de la rueda:

La propulsión óptima se realiza con las ruedas traseras paralelas al asiento. De esta forma la distancia de los brazos al cuerpo es la adecuada para aplicar la energía necesaria para la propulsión correcta.

Si las ruedas están más anchas en la base, la silla es más estable, pero los brazos quedan más cerca del cuerpo. Así se produce una mayor abducción de los hombros por lo que la propulsión es más difícil y menos eficaz.

Si las ruedas están más juntas en la base, los brazos quedarán muy lejos del cuerpo siendo difícil aplicar la fuerza necesaria para la propulsión. Además la silla es más inestable.

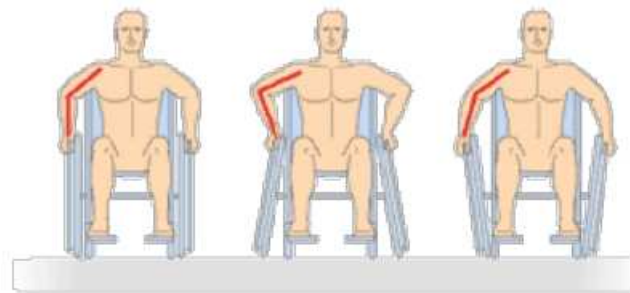


Fig.8

### 2.3.3 - La Postura en la Silla de Ruedas

La capacidad para funcionar de manera eficaz y realizar actividades depende de la habilidad para adoptar la postura apropiada. Esto hace que, si una persona no puede moverse o modificar su postura, puede ser necesario utilizar el asiento para intentar dar externamente lo que está limitado internamente.

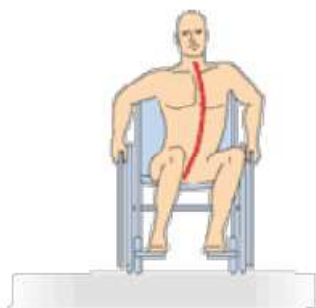
Una silla de ruedas únicamente resulta útil para su usuario si le proporciona comodidad y una base de asiento estable que le permita:

- Sentarse erguido en una posición sentada simétrica.
- Conseguir la máxima capacidad funcional con el mínimo gasto de energía.
- Reducir la presión que soporta en las nalgas y muslos.

A continuación analizaremos los distintos factores de los que depende que el usuario pueda adoptar en su silla la postura correcta para conseguir estos objetivos.

#### Tamaño del asiento:

Asegura la estabilidad optimizando la zona del cuerpo del usuario en contacto con la base del soporte. También procura alivio de la presión al distribuir de manera uniforme el peso del usuario en la mayor superficie posible.



Si el asiento es demasiado ancho el usuario tenderá a no sentarse simétricamente, si es demasiado estrecho existe el riesgo de que se produzcan escaras por presión.



Si es demasiado corto, los muslos no se apoyan en el asiento en toda su longitud de forma que se acumula mayor presión en las nalgas.



Si es demasiado largo, puede producir tensión en la zona de detrás de la rodilla. También dificultará que el usuario obtenga el soporte adecuado del respaldo, ya que tenderá a deslizarse en el asiento para evitar la tensión.



La longitud óptima del asiento debe ser aquella que estando el usuario bien sentado (erguido) deje una distancia aproximada de dos dedos de espacio entre el final del asiento y la zona interna de las rodillas del usuario.

Forma y ángulo del asiento: El asiento debe ser firme y estar nivelado.

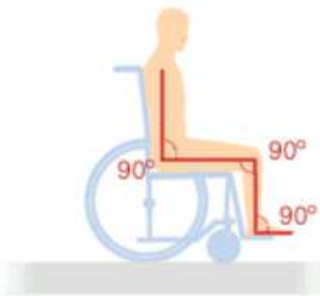


Una tapicería de asiento hundida provocará que el usuario se sienta de manera asimétrica haciendo que los muslos y las rodillas se empujen. Esto producirá un exceso de presión y rozamiento.



Cuando se mantiene una buena postura, el ángulo de la cadera (entre los muslos y el tronco) es fundamental ya que determina la estabilidad de la pelvis. Se considera que el **ángulo de 90º es el más adecuado para las actividades cotidianas**. La mejor forma de conseguir este ángulo es utilizando un cojín adaptado a la forma humana, más bajo por detrás para acomodar la forma de las nalgas.

Soporte para los pies:



Una vez establecido el ángulo de la cadera en 90º, la mayoría de las personas se sentirán cómodas si las rodillas se encuentran también en un ángulo de 90º. Este mismo ángulo se debe mantener también en los tobillos.

Por lo tanto desde el punto de vista ergonómico los reposapiés deberían de ser de 90º. Sin embargo en adultos, normalmente no se da, porque de esta forma las plataformas del reposapiés impiden el libre giro de las ruedas delanteras. En sillas deportivas con ruedas delanteras más pequeñas el ángulo puede ser de unos 85º. En sillas normales es algo inferior, pero siempre tendiendo a aproximarse lo más posible a los 90º. En usuarios con piernas largas el ángulo del reposapiés deberá ser inferior para que las plataformas no entorpezcan actividades como subir un bordillo.

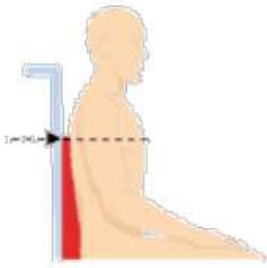


La altura a la que estén colocadas las plataformas también es importante. Si están demasiado bajas o el asiento demasiado alto, las rodillas del usuario estarán más bajas que sus caderas. De esta forma el usuario tenderá a deslizarse en el asiento, dificultando la propulsión y aumentando el rozamiento en las nalgas.



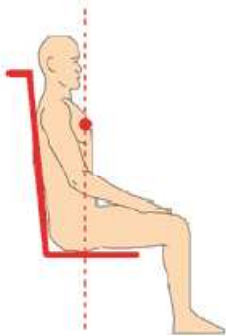
Si las plataformas están demasiado altas o el asiento bajo, las rodillas estarán más altas que las caderas aumentando la presión sobre las nalgas.

### Altura del respaldo:

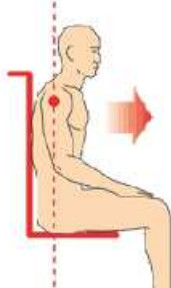


El respaldo debe ser lo bastante alto como para estabilizar la región lumbar superior. Por encima de este nivel la altura del respaldo depende de las necesidades o preferencias particulares del usuario. En lesionados medulares cuanto más alta es la lesión necesitarán un respaldo más alto para dar soporte al tronco. También se recomienda un respaldo más alto para dar seguridad al usuario que usa por primera vez una silla de ruedas. Una vez acostumbrado y si su lesión lo permite, tenderá a respaldos más bajos que ofrecen mayor libertad de movimientos del tronco.

### Forma del respaldo y ángulo:



La mayoría de usuarios se sentirán cómodos con un respaldo que dé adecuado soporte a la región lumbar. La forma, junto con un ángulo de inclinación adecuado, proporciona apoyo y equilibrio a la parte superior del cuerpo. **El respaldo debe de estar ligeramente reclinado para que la fuerza de gravedad recaiga sobre el pecho del usuario ayudándole a mantenerse estable en la silla.**



Un respaldo completamente recto hace que la fuerza de gravedad recaiga en los hombros del usuario por lo que éste tenderá a inclinarse hacia adelante para compensarla.



Un respaldo demasiado reclinado resulta incómodo porque el usuario ve reducido su campo visual.

### Soporte de los brazos:



Los reposabrazos procuran descanso a los brazos y músculos del cuello. Cuando se ajustan de manera adecuada, los antebrazos del usuario apoyados deben quedar a 90º del codo.

Si los apoyabrazos son demasiado altos, los hombros quedarán forzados hacia arriba, dando lugar a dolores musculares en la zona cervical. Si los apoyabrazos están demasiado bajos, el usuario tenderá a dejarse caer hacia un lado cuando los utilice. Una base de asiento estable puede eliminar la necesidad de apoyabrazos en los usuarios activos.

### 3.3.4 - Medidas Necesarias para la Correcta Prescripción de la Silla de Ruedas:

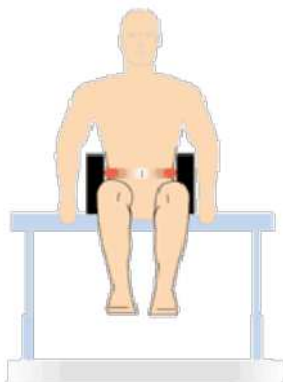
La independencia en una silla de ruedas puede facilitarse o empeorarse como resultado de una toma de medidas correcta o no. Entendemos que la silla es una extensión del individuo y que cada individuo tiene unas necesidades que deben ser tomadas en consideración. Las medidas deben tomarse preferentemente en una superficie plana y dura con un almohadillado máximo de 2,5 a 3 cm. Si se realizara en una cama, sobre la tapicería de una silla de ruedas o sobre cualquier otra superficie blanda, puede que éstas no sean las correctas.

El espacio personal del usuario es muy importante. Debemos respetarlo siempre y pedir permiso cuando tengamos que tocarlo o aproximarnos, ya que estaremos invadiendo su espacio personal. Esto también garantiza en algunos casos la seguridad de quienes están trabajando con el paciente.

Al tomar medidas el usuario debe posicionarse en la postura correcta que después va a adoptar en la silla de ruedas. En algunos casos es necesaria la colaboración de amigos o familiares.

Así mismo deberá considerarse la ropa que lleve puesta en ese momento y la que llevará habitualmente.

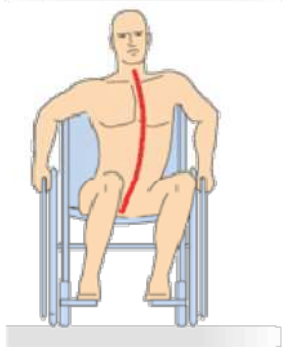
#### 1. Anchura pélvica: Medida que se corresponde en equipamiento a la anchura de asiento de la silla.



Equivale a la máxima anchura de las caderas en el punto más ancho de las mismas. Un modo práctico de medirla es colocando al paciente sentado sobre una mesa con dos cajas a ambos lados de la cadera y medir la distancia existente entre las caras internas de ambas cajas.

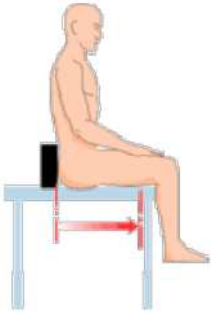
Ésta medida determinará los siguientes factores:

- Acceso a las ruedas: Un asiento demasiado ancho dificultará el acceso del paciente para propulsar la silla y aumentará innecesariamente la anchura total de la silla, dificultando su entrada en interiores.
- Posición pélvica y estabilidad: Un asiento demasiado ancho provocará un aumento del riesgo de oblicuidad pélvica.



Crecimiento: Si queremos que el niño crezca sin deformidades en la silla, debemos acoplar un sistema especial, que le posicione correctamente y le proporcione un soporte extra en los laterales.

2. Longitud del muslo: medida que se corresponde con la profundidad del asiento.



Un método práctico para medir la profundidad del asiento de la silla es colocar al paciente sentado en una mesa con el borde anterior de la mesa a tres dedos de la flexura de la rodilla y con una caja en la parte posterior de la espalda. Medir desde el plano vertical posterior de la espalda hasta el borde de la mesa. Esta medida deberá realizarse tanto en el muslo derecho como en el izquierdo, para considerar cualquier discrepancia.

De esta toma de medidas dependerá:

- Distribución de la presión: A mayor superficie de apoyo, mayor distribución del peso.
- Posición pélvica y estabilidad: A mayor superficie de apoyo, mayor base de estabilidad.
- Longitud total de la silla y maniobrabilidad.



Si el asiento es demasiado corto, la mayor distribución del peso recaerá en la zona de riesgo de escaras (tuberosidades isquiáticas y coxis).



Por el contrario, si el asiento es demasiado largo, el paciente sufrirá rozamiento en la flexura de la rodilla y para evitarlo se deslizará sobre la superficie del asiento.

3. Longitud de la pantorrilla: medida que se corresponde con la longitud del reposapiés.



Equivale a la distancia desde la flexura de la rodilla hasta la zona de apoyo del talón, con el tobillo en flexión. Hay que considerar cualquier aparato o ayuda que normalmente utilice el individuo. Es importante medir ambas piernas para considerar cualquier discrepancia.



De esta medida dependen:

- La distribución de la presión: Un 19% del peso del cuerpo en sedestación se distribuye en los pies.
- Posición pélvica y estabilidad: Si los reposapiés están demasiado largos, los pies van a buscarlos, provocando una retroversión pélvica.



Si los reposapiés están demasiado cortos, el paciente no apoyaría los muslos y el peso estaría concentrado en la zona de riesgo de escaras (tuberosidades isquiáticas y coxis).

4. Altura inferior de la escápula: medida que se corresponde con la altura del respaldo en un paciente con control normal de tronco.



Se mide desde el plano del asiento hasta el ángulo inferior de la escápula. La altura máxima del respaldo debe quedar 2,5 cm por debajo de la escápula. Hay que considerar los siguientes factores:

- Posible punto de presión.
- La necesidad de soportes torácicos (laterales) y/o lumbares (posteriores)
- Estabilidad y/o movilidad del tronco.

5. Altura del hombro: medida que se corresponde con la altura del respaldo en un paciente con poco control de tronco.



Equivale a la distancia del plano del asiento a la altura del hombro.

De esta medida dependerán:

- La estabilidad escapular y movilidad.
- El soporte torácico y lumbar.
- La estabilidad
- El control de cabeza.

Cuando hay poco control de tronco se recomienda ayudar al paciente basculando la silla hasta lograr su equilibrio, siempre manteniendo los ángulos de la pelvis, de las rodillas y del tobillo a 90° (salvo que tenga deformidades fijas en las articulaciones). En caso necesario, se deberán añadir además, mayor altura del respaldo, soportes laterales, lumbares y cabecero.

## 2.4 - ESTUDIO SOBRE LA COLUMNA VERTEBRAL

### 2.4.1 - Definición

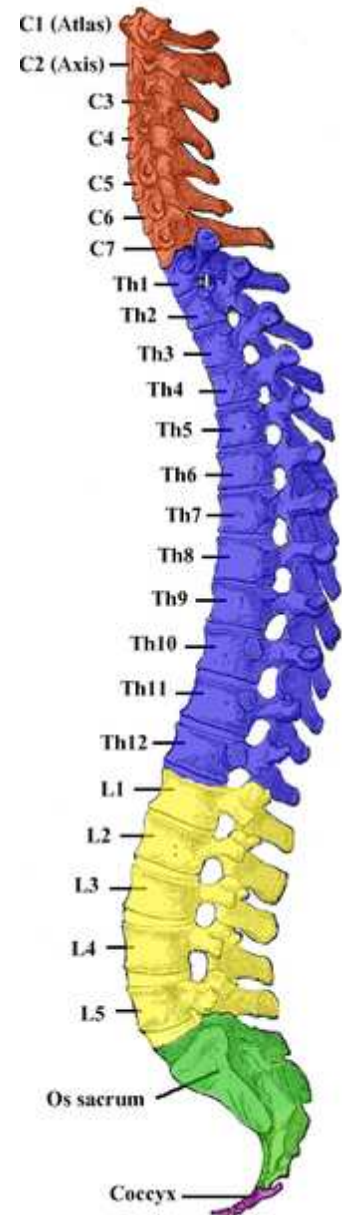
Estructura osteofibrocartilaginosa articulada y resistente, en forma de tallo longitudinal, que constituye la porción posterior e inferior del esqueleto axial. Situada en su mayor extensión en la parte media y posterior del tronco, y va desde la cabeza, a la cual sostiene, pasando por el cuello y la espalda, hasta la pelvis, que le da soporte. [13]

La columna vertebral está compuesta por 33 *vértebras* y sus respectivos *discos intervertebrales*, además de *ligamentos* y *masas musculotendinosas* que conectan y sostienen éstas estructuras. Se extiende desde la base del cráneo hasta el cóccix y su longitud es variable según el grado de sus curvaturas y la talla de la persona (70 cm. en hombres y 60 cm. en mujeres, aproximadamente). Su longitud va disminuyendo con la edad debido a la reducción del grosor de los discos intervertebrales y a la exageración de las curvaturas, especialmente en la región torácica. [14]

Las vértebras se reparten en 5 regiones: cervical, torácica, lumbar, sacra y coccígea. Según esto, cada vértebra lleva el nombre de la región a que pertenecen. Ellas son: [14]

- 7 vértebras cervicales (C1 a C7)
- 12 vértebras torácicas (T1 a T12)
- 5 vértebras lumbares (L1 a L5)
- 5 vértebras sacras (S1 a S5)
- 3 a 5 vértebras coccígeas (Co1 a Co5)

Las vértebras sacras y coccígeas están fusionadas y forman respectivamente el sacro y el cóccix.



### 2.4.2 - Funciones

Las funciones de la columna vertebral son varias, principalmente interviene como elemento de sostén estático y dinámico, proporciona protección a la médula espinal recubriéndola, y es uno de los factores que ayudan a mantener el centro de gravedad de los vertebrados.

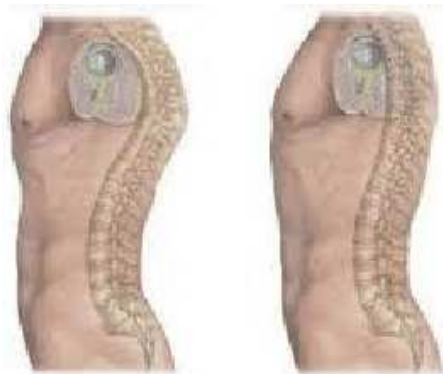
### 2.4.3 - Defectos posturales

[15]

Son actitudes o hábitos incorrectos (vicios) que se adquieren y que pueden llegar a modificar o alterar negativamente la postura y, en consecuencia, la salud. En cada etapa aparecen unos defectos característicos, por ejemplo, en la adolescencia, los debidos al nuevo esquema corporal. En muchos casos pueden ser corregidos y prevenidos.

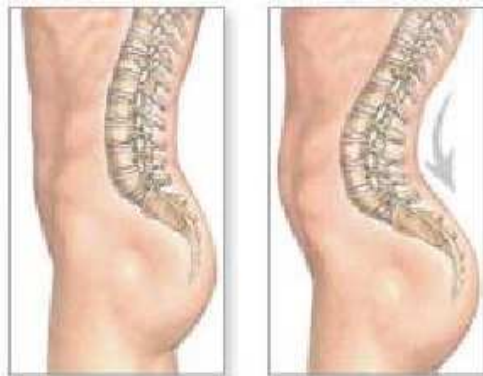
Los defectos posturales se manifiestan en su mayoría en la columna vertebral y llegan a producir la deformidad de la misma. Los más característicos en el ser humano son tres y se manifiestan mediante actitudes cifóticas, lordóticas y escolióticas:

- **Cifosis:** Consiste en un arqueamiento de la curva dorsal que apunta hacia atrás, lo que conlleva una postura conocida comúnmente como joroba.



(izq) Columna con cifosis - (der) Columna normal

- **Lordosis:** Es un incremento de la curva posterior de la columna cervical y lumbar, lo que crea la apariencia de estar inclinado hacia atrás.



(izq) Columna normal - (der) Columna con lordosis

- **Escoliosis:** Es la desviación lateral de la columna vertebral, y puede producirse en forma de "S" o "C".



(izq) Columna con escoliosis - (der) Columna normal

## 2.5 - ESTUDIO SOBRE LOS DISPOSITIVOS DE SOPORTE POSTURAL [16]

Según ISO 9999, una Ayuda Técnica es definida como “cualquier producto, instrumento, equipo, o sistema técnico usado por una persona con discapacidad...[para] prevenir, compensar, monitorear, atenuar o neutralizar la disfunción, discapacidad o minusvalía”

En particular, los Dispositivos de Soporte Postural (PSDs: Postural-support devices) son definidos por la CCAT (Conseil Consultatif sur les Aides Techniques) como “dispositivos que permiten a la persona mantener una postura adecuada” y por lo tanto son considerados ayudas técnicas. Los PSDs incluyen asientos, respaldares, apoyapiernas, apoyapiés, apoyabrazos, apoyacabezas y apoyacuellos. La tabla siguiente muestra la clasificación de PSDs de acuerdo a su uso:

TABLE 1			
Postural-support devices: classification by functional unit			
AREA OF THE BODY	FUNCTIONAL UNIT	FUNCTIONS	
		Support component	Maintenance components
Pelvis and thighs	Seat	Cushion Rigid interface or seat Anchoring system	Lap belt Straps Trunk control components
Pelvis and trunk	Back	Cushion Rigid interface or seat Anchoring system	Support pad Abduction and adduction wedges*
Lower limbs	Legrest or footrest	Cushion Stump support Customized support system	Other positioning wedges or supports Foot support Etc.
Upper limbs	Armrest	Forearm support Hand support Anchoring system Tray Half-tray	
Head and neck	Headrest or neckrest	Cushion Support	

Source: Bernatchez B., RAMQ, personal communication, June 2003.

\* Wedge: A component or device designed to support an axial load.

Actualmente existe una gran variedad de PSDs en el mercado, algunos fueron desarrollados por empresas y otros por instituciones públicas. Sin embargo, debe ser remarcado que la mayoría de la bibliografía sobre PSDs son estudios concernientes a los asientos, mientras que la literatura acerca de respaldares es escasa.

Generalmente considerado como un simple accesorio de la silla de ruedas, el PSD es prescripto sin demasiada explicación como “asiento de almohadón”. Sin embargo, debe prestarse especial atención a aquellos pacientes que pasan la mayor parte de su tiempo en la silla de ruedas ya que los PSDs juegan un rol crucial en el confort, estabilidad, soporte postural y prevención de yagas de presión.

A pesar de que la relación entre mala postura y el costo que ésta genera no es inmediatamente perceptible, una mala postura puede ocasionar: incomodidad, yagas de presión, contracturas, disminuir el grado de movimiento, espasticidad (es un incremento en el tono muscular con rigidez y exagerados reflejos),

deformación en la columna vertebral, disfunción de órganos internos, y un incremento del aumento de dependencia del usuario.

Los PSDs pueden clasificarse según la necesidad básica de los diferentes usuarios en:

- a) Usuarios con cerebro motriz discapacidad: PSD para proveer soporte postural y compensar las deformaciones
- b) Usuarios con Spinal Cord Injury: PSD para balancear la presión y mantener la postura;
- c) Usuarios con múltiples minusvalías y los ancianos: PSD para aumentar el confort y mejorar la postura.

## **2.6 - INVESTIGACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS EXISTENTES EN EL MERCADO ACTUAL**

### **2.6.1 - Instituto Nuevo Amanecer (México)**

[17]

El paciente es sentado en una bolsa modeladora para obtener una impresión de su contorno corporal, con lo cual se les fabrica un molde de yeso, con éste se obtiene el molde final en fibra de vidrio. Este molde debidamente cubierto es insertado en la silla de ruedas de cada uno de los pacientes involucrados.

El procedimiento empleado en éste estudio puede realizarse en centros de atención multidisciplinarios en México y otros países latinoamericanos con un costo que oscila entre 200 y 300 dólares por cada asiento. Asimismo, el seguimiento complementario para asegurar su buen uso y ajuste de cada caso puede realizarse en las citas subsecuentes después de la entrega de los asientos en sus centros de atención de estimulación temprana o de rehabilitación.

Entre el año 2000 y 2001, se realizó un estudio para evaluar la mejoría postural en niños y adolescentes con Parálisis Cerebral mediante el uso de este tipo de asientos especiales de bajo costo diseñados al contorno de la forma corporal. La muestra fue de 33 pacientes con un rango de edad de 3 a 20 años. Como resultado del estudio, a pesar del rango de edad de la población estudiada, todos ellos tenían deformación de la columna vertebral al inicio del estudio, y después del uso del asiento prescrito, todos ellos mejoraron su postura y estabilización (para ver las tablas de resultados del estudio, recurrir a la referencia citada).

## 2.6.2 - UFRGS - Universidade Federal de Rio Grande do Sul (Porto Alegre, Brasil)

[18]

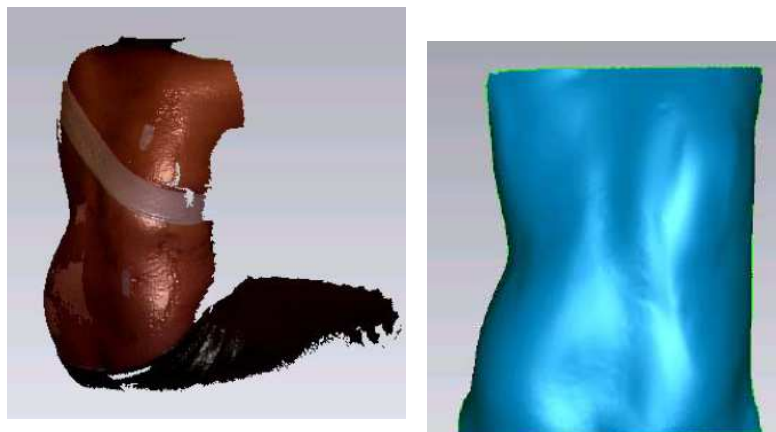
Se propone una ruta tecnológica para la fabricación de dispositivos personalizados para adecuación postural sentada, considerando la antropometría y las deformidades posturales de cada individuo, a través de la utilización de las técnicas de digitalización tridimensional con laser, mecanizado CNC y termomoldeado.

Para obtener los datos antropométricos del individuo se utiliza un escáner móvil de marca Konica Minolta, modelo Vivid 9i, con lentes wide (distancia focal 8mm, precisión de 0,096mm a 1m de distancia). El escáner al ser móvil puede ser transportado a la residencia del individuo, para facilitar la medición de los datos. A través del proceso de digitalización tridimensional, son obtenidos archivos tridimensionales correspondientes al torso del individuo, el cual es posicionado manualmente por fisioterapeutas y fajas de cuero para lograr una postura biomecánica más adecuada.



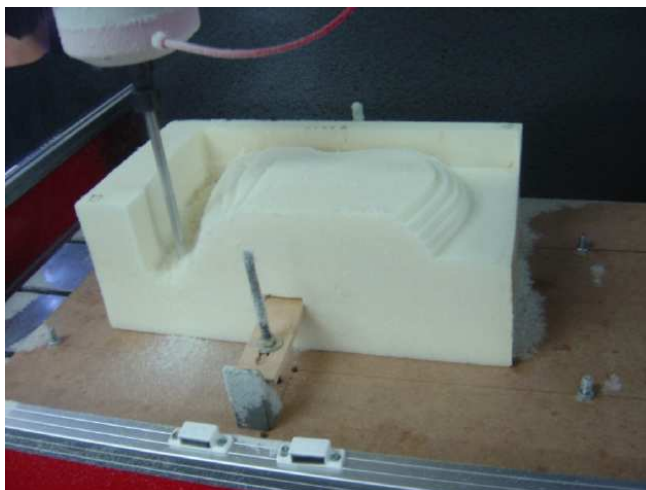
*Fig. 3-... – Digitalización tridimensional del torso*

Los archivos de salida del proceso de digitalización tridimensional están constituidos por nubes de varios millones de puntos que representan las coordenadas X, Y y Z de la superficie digitalizada. Por ello, luego de digitalizados, se aplican filtros a los puntos obtenidos por medio del software Raindrop Geomagic para reducir el ruido inherente al proceso de digitalización, reducir la cantidad de puntos de la nube y mantener apenas los puntos realmente significativos para representar el torso y tornar el modelo tridimensional mas fácilmente manipulable. Los puntos filtrados fueron luego unidos tres a tres, formando una malla tridimensional con triangulos planos. El archivo es luego guardado en formato STL, padrón para sistemas de prototipado rápido e compatible con la mayoría de los sistemas CAD, CAE y CAM disponibles en el mercado.



*Fig. 3-... – Izquierda: modelo tridimensional sin filtrar, Derecha: malla tridimensional generada*

El archivo es exportado al software Edgecam, donde se genera la estrategia de mecanizado del modelo para la fabricación del asiento. Para el mecanizado son utilizados dos bloques de poliuretano (PU) de dimensiones iniciales 400x400x200 mm. El mecanizado se lleva a cabo con un equipo CNC de la marca Tecnodrill, modelo Digimill 3D, y son utilizadas herramientas de desbaste y acabado de 10mm de diámetro. Los parámetros del proceso son: 10.000 RPM como velocidad de rotación, 3.000 mm/min como velocidad de avance horizontal, 1.000 mm/min como velocidad de avance vertical e 4 mm como incremento de corte.



*Fig. 3-... – Mecanizado del bloque de PU*

Al final del proceso los bloques son unidos y sellados con resina como se muestra en las figuras:



*Fig. 3-... – Izquierda: bloques unidos al final del mecanizado, Derecha: bloques sellados con resina*

Para la confección del molde negativo, se utiliza el termomoldeado en vacío con PP (polipropileno) y EVA (etileno - acetato de vinila) en molde abierto, utilizando una bomba de succión.



*Fig. 3-... – Izquierda: conformado con EVA, Derecha: conformado con PP*



Fig. 3-... – Configuración del respaldar personalizado, fabricado en PP y recubierto con EVA

Se realizó un estudio con un usuario de silla de ruedas con Parálisis Cerebral que posee escoliosis no estructurada (que desaparece con inclinación lateral o anterior del tronco). Para comparar la diferencia de postura causada por el respaldar personalizado, se utilizó un análisis de fotometría con el cual se pueden notar las discrepancias angulares a través de puntos anatómicos marcados en el cuerpo del usuario. Se realizaron dos fotos del usuario sentado en la silla de ruedas, la primera con el respaldar convencional, y la segunda con el respaldar personalizado, que luego fueron comparadas.

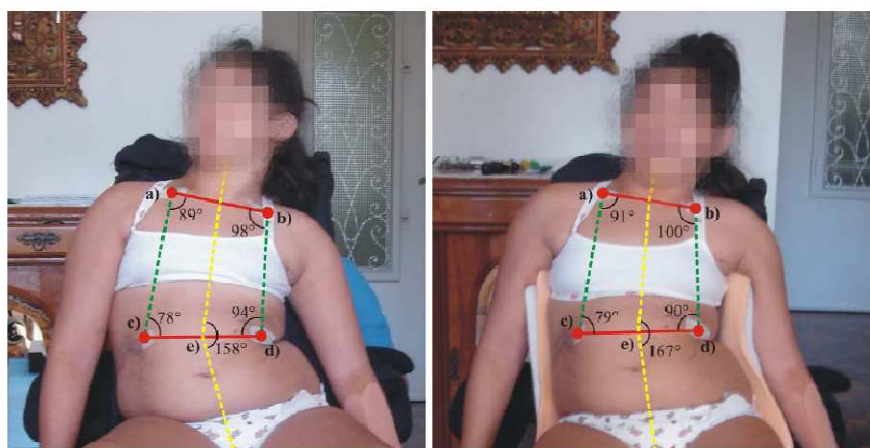


Fig. 3-... – Izquierda: respaldar convencional, Derecha: respaldar personalizado

La variación entre los ángulos A, B, C y D fue pequeña, debido a que ya se encontraban en valores satisfactorios. Por otro lado, la diferencia encontrada en el ángulo E fue significativa, lo que indica que hubo una mejoría postural debido al aumento de la simetría. Cabe resaltar que el proceso de adaptación al nuevo dispositivo no debe ser tan agresivo al principio, para evitar otros problemas como úlceras de presión. De esta manera, el proceso de adecuación postural del usuario debe ser aumentado gradualmente.

## 2.7 - REFERENCIAS

- [1] OMS – Discapacidad (<http://www.who.int/topics/disabilities/es/>)
- [2] OMS, Banco Mundial - “World Report on Disability”
- [3] INDEC - Población total, población con discapacidad y prevalencia de la discapacidad según sexo por grupos de edad ([www.indec.gov.ar/nuevaweb/cuadros/2/y020703.xls](http://www.indec.gov.ar/nuevaweb/cuadros/2/y020703.xls))
- [4] INDEC - Cuadro P9. Total del país. Población en viviendas particulares, con dificultad o limitación permanente y prevalencia de la dificultad o limitación permanente, según sexo y grupo de edad. Año 2010 ([www.censo2010.indec.gov.ar/cuadrosDefinitivos/Total\\_pais/P9-Total\\_pais.xls](http://www.censo2010.indec.gov.ar/cuadrosDefinitivos/Total_pais/P9-Total_pais.xls))
- [5] INDEC - Cuadro P10. Total del país. Población en viviendas particulares con dificultad o limitación permanente por tipo de dificultad o limitación permanente, según sexo y grupo de edad. Año 2010 ([www.censo2010.indec.gov.ar/cuadrosDefinitivos/Total\\_pais/P10-Total\\_pais.xls](http://www.censo2010.indec.gov.ar/cuadrosDefinitivos/Total_pais/P10-Total_pais.xls))
- [6] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en México - *Compendio de Legislación sobre Discapacidad, Tomo I: Marco Internacional, Interamericano y de América Latina.*
- [7] Dirección de Información Parlamentaria del Congreso de la Nación - *Reseña de Legislación, Personas Con Discapacidad - Legislación Nacional vigente*
- [8] IRAM - Instituto Argentino de Normalización y Certificación – Normas de Accesibilidad. (<http://www.iram.com.ar/seccion.php?ID=2&IDS=194>)
- [9] World Health Organization - *Guidelines on the Provision of Manual Wheelchairs in Less Resourced Settings* (<http://www.who.int/disabilities/publications/technology/wheelchairguidelines/en/index.html>)
- [10] Sheldon S, Jacob N. A. - *Report of a Consensus Conference on Wheelchairs for Developing Countries* (<http://www.who.int/disabilities/technology/WCGconsensusconf/en/index.html>)
- [11] Organización Internacional de Normalización - *ISO 7176-4:1997(E)*
- [12] Sunrise Medical Co. - *Consideraciones Biomecánicas en la Silla de Ruedas Manual* - (<http://www.imagina.org/archivos/biomecanica.htm>)
- [13] Rodríguez, R (UNCuyo – Licenciatura en Diseño) – *Ergonomía Aplicada al Diseño*
- [14] Escuela de Medicina Pontificia Universidad Católica de Chile - *Curso de Neuroanatomía*
- [15] Educación Física Plus – *Postura Corporal*
- [16] Agence d’Évaluation des Technologies et des Modes d’Intervention en Santé (2003) – *Postural-Support Devices*
- [17] Davies et al. (2011) – *Diseño de Asientos Especiales para Personas con Parálisis Cerebral* - (<http://www.nuevoamanecer.edu.mx>)
- [18] Prestes et al. (2011) – *Desenvolvimento de Dispositivos Personalizados para Adecuação Postural Sentada* - (<http://www.imagina.org/archivos/biomecanica.htm>)

### 3 - ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

#### 3.1 - INTRODUCCIÓN

[1]

Interpretar y entender correctamente el problema es la base fundamental para diseñar un producto de calidad. Con “entender el problema de diseño” nos referimos a traducir los requerimientos de los clientes a una descripción técnica del producto a ser diseñado o, como los japoneses dicen, “escuchar al voz del cliente”. Esta importancia está claramente representada por la fig 4.1. Cada cual tiene una visión distinta de lo que necesita el cliente, y lleva mucho trabajo encontrar cuál es la necesidad real.

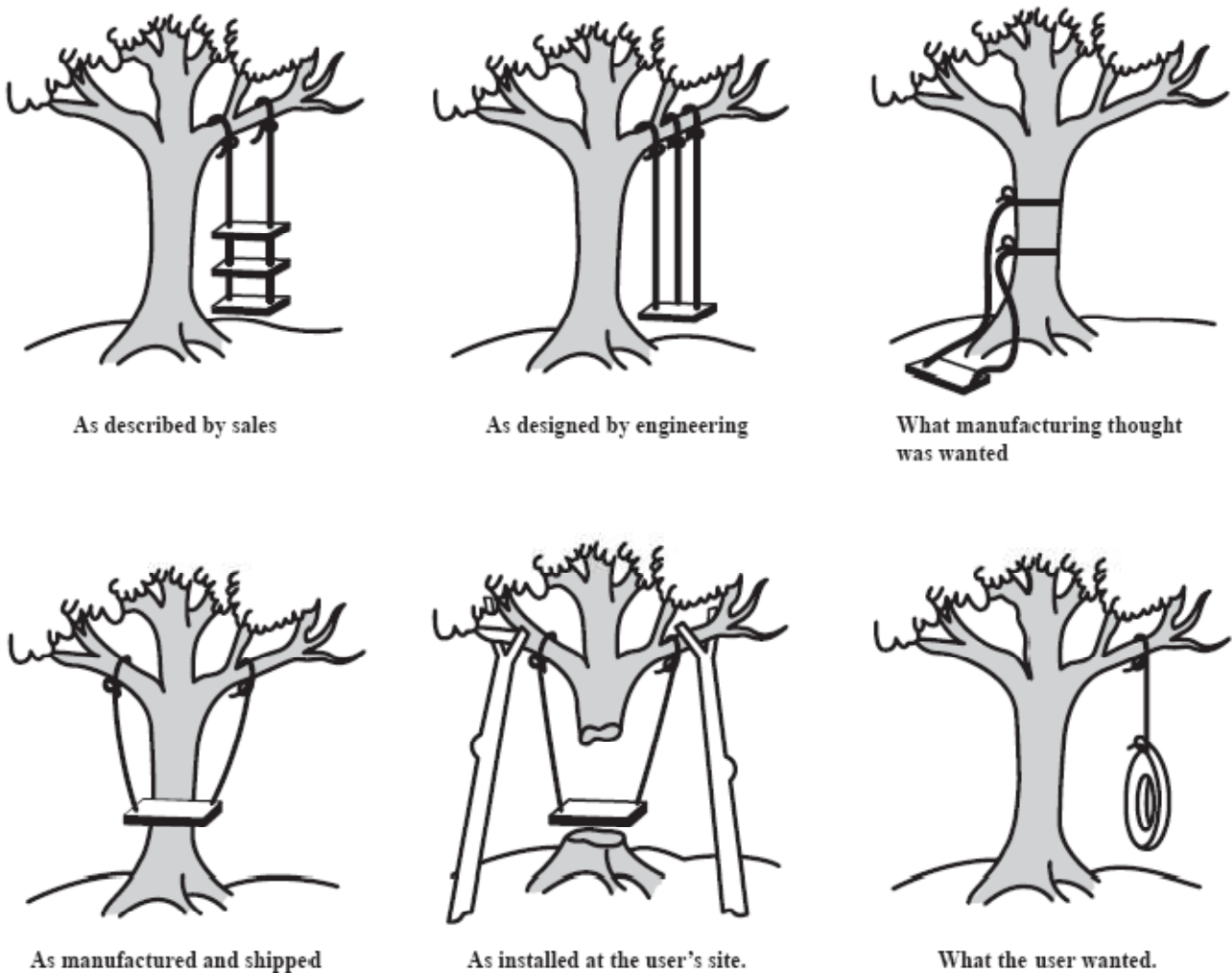


Fig. 4-1 – Comprendiendo la necesidad del producto

El desarrollo cuidadoso de los requisitos que debe cumplir el producto es la clave de un eficiente proceso de diseño. En este capítulo el objetivo está puesto en comprender el problema a ser resuelto. La habilidad de escribir una buena lista de especificaciones técnicas prueba que el diseñador entiende correctamente el problema.

### 3.2 - QFD (Quality Function Deployment)

[1]

Existen muchos métodos para generar especificaciones técnicas. Uno de los mejores, y más populares es el denominado *Quality Function Deployment* (QFD) que sirve para comprender el problema, documentarlo, y comunicarlo. El método QFD organiza las informaciones más relevantes para entender el problema:

- Escucha la voz del cliente;
- Desarrolla las especificaciones del producto;
- Encuentra cómo medir los deseos del cliente en términos de especificaciones;
- Determina qué tan bien la competencia alcanza los objetivos;
- Desarrolla objetivos numéricos a alcanzar.

El diseñador debe tener siempre presente que debe ocuparse primeramente en el QUÉ se necesita diseñar, y solo cuando se haya comprendido esto ocuparse por el CÓMO el diseño va a funcionar y verse. Es útil resaltar esto ya que nuestras capacidades cognitivas generalmente nos llevan a tratar de asimilar los requerimientos funcionales demandados por los clientes (qué es lo que se va a diseñar) en términos de forma (cómo va a verse); luego estas imágenes se convierten en nuestros diseños favoritos y nos cerramos a ellos. Una de las ventajas del QFD es que el procedimiento para elaborarlo ayuda a superar esta limitación cognitiva.

En algunos proyectos, cerca de un tercio del tiempo total del diseño se emplea para completar el QFD. Evidencia experimental muestra que diseñadores que dedican tiempo a esta primera etapa terminan obteniendo mejores productos y en total no utilizan más tiempo comparado con aquellos diseñadores que realizan un trabajo superficial aquí. En otras palabras, el tiempo gastado en esta etapa, ahorra tiempo después. Además, esta técnica no solo ayuda a comprender el problema, sino que también ayuda a crear la base para la generación conceptual (Fig. 4-2).

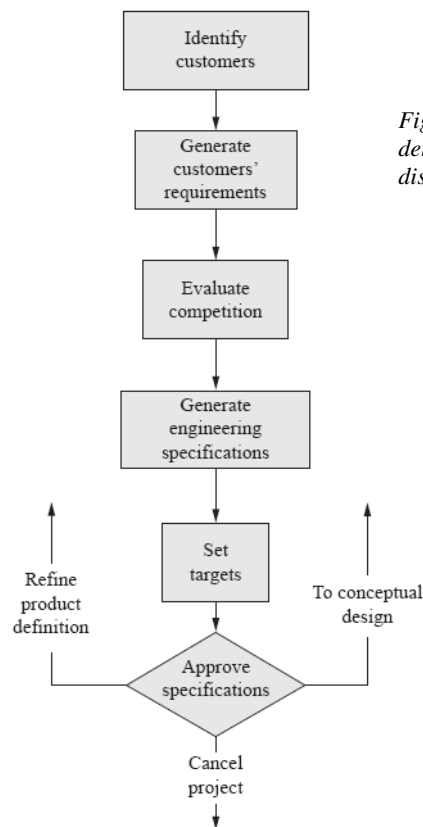


Fig. 4-2 – La fase de Definición del Producto del proceso de diseño mecánico

Siguiendo los pasos de la QFD se construye la *casa de la calidad* (Fig. 4-3). Los números en el diagrama hacen referencia al orden de los pasos a seguir para completarlo.

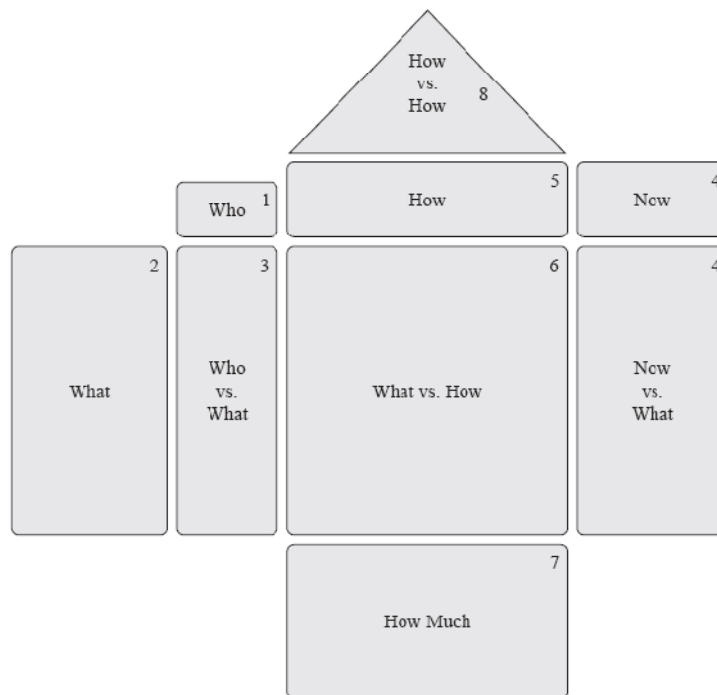


Fig. 4-3 – La “Casa de la Calidad”, también conocida como diagrama QFD

**Paso 1:** Identificar QUIÉNES son los consumidores.

Generalmente para cada producto hay más de un consumidor y debe ponerse atención en incluirlos a todos. Por ejemplo, si el producto es un equipo para hacer ejercicio, un consumidor es quien compra el producto (en este caso el dueño del gimnasio) y otro consumidor es quien lo utiliza (la persona que se ejercita en el gimnasio).

**Paso 2:** Identificar QUÉ quieren los consumidores.

En este paso se confecciona una lista de requisitos solicitados por el consumidor. No debe ponerse atención a la imprecisión de los términos utilizados, ya que esta lista debe estar hecha en las propias palabras del cliente (tales como “fácil”, “rápido”, “natural”), luego en un paso posterior del proceso se traducirán estos términos abstractos a parámetros técnicos.

Una vez terminada la lista, se deben organizar jerárquicamente los requisitos, identificando las fases en las cuales esos requisitos son necesarios. Esta descomposición de las funciones lleva a crear una estructura para organizar los resultados de la voz del consumidor.

**Paso 3:** Determinar para QUIÉN es importante ese QUÉ (QUIÉN vs QUÉ).

En este paso se evalúa la importancia de cada requisito del consumidor, generando un factor de ponderación que dará una idea de cuánto esfuerzo, tiempo y dinero invertir en satisfacer cada requisito. Tener en consideración que si un requisito es básico para el producto, entonces no debe ser ponderado.

**Paso 4:** Identificar cómo el problema es resuelto AHORA, en otras palabras, cuál es la competencia para nuestro producto. Esta información es comparada con lo que el consumidor desea (AHORA vs QUÉ) para descubrir cuáles son las oportunidades para mejorar el producto.

El objetivo aquí es determinar cómo el consumidor percibe la capacidad de la competencia para satisfacer los requisitos. Para ello se utilizará el puntaje de 1 a 5 siendo:

1. el producto no cumple con el requisito;
2. el producto cumple levemente con el requisito;
3. el producto cumple en parte con el requisito;
4. el producto cumple casi completamente con el requisito;
5. el producto cumple completamente con el requisito;

No debe ponerse atención a la subjetividad de la comparación, ya que debemos basarnos en la opinión del consumidor, luego en un paso posterior del proceso se realizará una comparación más objetiva. Este paso tiene el doble objetivo de: (1) dejar en evidencia si existe una clara oportunidad de mejorar el producto al mostrar coincidencia del incumplimiento del requisito entre la competencia; y (2) destacar la competencia que cumple completamente con un requisito de importancia, y el producto competidor debe ser estudiado para obtener buenas ideas.

Paso 5: Determinar CÓMO se van a alcanzar los requisitos del consumidor. Este paso y el siguiente son unos de los más dificultosos del proceso, pero de ellos se obtienen las especificaciones técnicas que sirven para restablecer el problema de diseño en términos de parámetros mensurables. Sin esta información el diseñador no podría saber si el producto desarrollado satisfará los requisitos de los consumidores.

Las especificaciones técnicas consisten en parámetros y en valores objetivos para esos parámetros. Los parámetros son establecidos en este paso mientras que los valores objetivos serán establecidos en el paso siguiente. Aquí todo el esfuerzo debe estar dedicado en encontrar la mayor cantidad de maneras posibles de medir cada requerimiento del consumidor (lo ideal es que cada requisito tenga más de una especificación técnica). Si ocurre que no hay ningún parámetro mensurable para un cierto requisito, es porque ese requisito no se comprende. Una posible solución es dividir dicho requisito en partes individuales más pequeñas o rehacer el paso 2 poniendo mayor atención a ese requisito en particular.

Debe controlarse que no se hayan usado sustantivos en las frases, ya que cada sustantivo hace referencia a un objeto que es parte del producto o del ambiente y debe considerarse si no están siendo pre-asumidos como una solución y por ende limitando el diseño. Por ejemplo, si una especificación para una silla es “fácil de ajustar la altura del asiento” significa que un asiento ajustable en altura está siendo asumido como parte de la solución. Esto es aceptable si el equipo de diseño tomó la decisión de que debe haber un asiento ajustable en altura. Sin embargo, si tal hipótesis no fue hecha, la solución estaría siendo limitada inconscientemente. Prestar atención a los objetos que son parte del producto es una de las mayores responsabilidades durante la generación del diseño conceptual.

Por último, además de definirse las unidades de medición, también debe aclararse para cada parámetro la dirección de mejora (usar “↑” cuando más sea mejor, y usar “↓” cuando menos sea mejor).

Paso 6: Relacionar las especificaciones técnicas obtenidas del paso 5, con los requisitos del consumidor identificados en el paso 2 (QUÉ vs CÓMO). Este paso se realiza a la vez que el paso anterior.

Aquí el objetivo es realizar una matriz de relación entre las especificaciones técnicas y los requisitos del consumidor. Para ello se utiliza un puntaje según sea:

- = 9 = fuerte relación
- = 3 = media relación
- △ = 1 = débil relación
- Blanco = 0 = sin relación

Tener en cuenta que cada requisito debe tener aunque sea una especificación técnica con la cual esté fuertemente relacionada. Lo ideal es que cada especificación esté relacionada con más de un requisito del consumidor. Si algún requisito sólo tiene especificaciones con las cuales se relaciona débilmente, es porque dicho requisito no es correctamente comprendido.

Paso 7: Definir las metas para cada especificación técnica (CUÁNTO) y establecer cuán importante es alcanzar cada una de ellas. Este paso tiene tres etapas:

1 – Calcular la importancia de cada especificación para poder determinar el esfuerzo que se debe emplear para alcanzar esa meta. Para ello:

1. Para cada consumidor, multiplicar la ponderación del paso 3 con la relación determinada en el paso 6, y sumarlos para obtener el valor ponderado de cada especificación según el tipo de consumidor.
2. Calcular el porcentaje que representa la importancia de cada especificación sobre el total de todas las especificaciones, para cada consumidor.

2 – Calcular qué tan bien la competencia alcanza cada meta. Para ello, generalmente se adquiere un producto de la competencia y se lo ensaya. Cuando esto no es posible, se utilizan datos obtenidos de simulaciones o de la literatura.

3 – Establecer objetivos para nuestro producto que definirán el esfuerzo a aplicar para alcanzar cada meta de las especificaciones técnicas. Estos valores objetivos que son establecidos antes de comenzar el diseño deben tener una tolerancia de  $\pm 30\%$ , ya que generalmente durante el desarrollo del diseño estos valores serán refinados. Tener en cuenta que habrá especificaciones que deben ser seteadas a un valor, mientras que otras podrán tener mayor flexibilidad. Para estas últimas, un método recomendado es establecer para cada especificación dos valores: un valor límite de disgusto, y otro valor límite de satisfacción.

Paso 8: Inter-relacionar las especificaciones técnicas (CÓMO vs CÓMO).

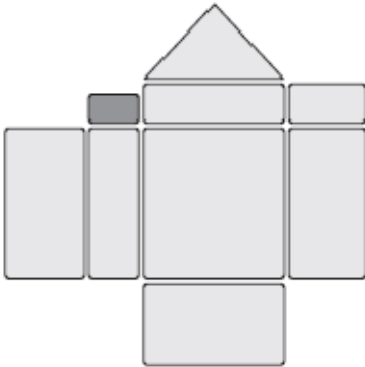
Puede ocurrir que algunas especificaciones técnicas sean dependientes entre sí, y que al modificar una de ella, afecte de forma positiva o negativa a las otras. Es recomendable conocer dichas dependencias antes de comenzar el diseño. Un método simple es utilizar los símbolos:

“+” = para denotar que una mejora en una de ellas, provoca efectos positivos en la otra;

“-” = para denotar que una mejora en una de ellas, provoca efectos negativos en la otra;

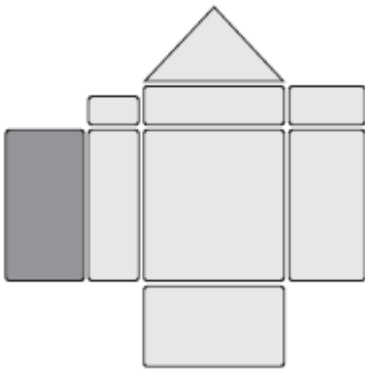
### 3.3 - DESARROLLO DEL QFD

#### Paso 1: ¿QUIÉN?



- USUARIO: Todas las personas usuarias de silla de ruedas, pero en especial aquellas que no tengan control de torso, o que padezcan alguna deformación en la columna.
- KINESIÓLOGO: Persona cuya función es adaptar el dispositivo al torso del usuario. Debe estar capacitado para decidir si la posición final del usuario es la adecuada para la necesidad particular del usuario.

#### Paso 2: ¿QUÉ?



##### FASE 1: Adaptar dispositivo a la morfología del torso del usuario

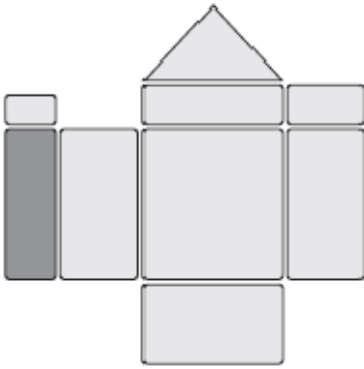
- Mínimo tiempo de personalización
- Mínima invasividad/contacto con el usuario
- Rigidez una vez seteado
- Copiado adecuado de la morfología

---

##### FASE 2: Uso diario del dispositivo

- Comodidad:
  - Ergonómico (mullido/ángulo/altura/etc)
  - Mínimo hacer transpirar
- Practicidad:
  - Desmontable/revatible/plegable
  - Mínimo peso
  - Impermeable/resistente al agua
- Atractivo:
  - Mínimo contraste con el entorno (Apariencia agradable)
- Económico:
  - Mínimo costo
- Útil:
  - Correcta guía y sostén del torso
- Adaptable:
  - Adaptable a silla de ruedas universal
- Durable:
  - Máxima durabilidad

### Paso 3: ¿QUIÉN vs QUÉ?



Referencia: NP = no ponderado, por ser requisito básico

#### Importancia para el KINESIÓLOGO:

- 33,3% mínimo tiempo de personalización
- 33,3% mínima invasividad/contacto con el usuario
- 33,3% rigidez una vez seteado
- NP copiado adecuado de la morfología

#### Importancia para el USUARIO:

- 15% Adaptar dispositivo a la morfología del torso del usuario
  - 5% mínimo tiempo de personalización
  - 5% mínima invasividad/contacto con el usuario
  - 5% rigidez una vez seteado
- NP copiado adecuado de la morfología

#### 20% : Comodidad

- 10% ergonómico (mullido/ángulo/altura/etc)
- 10% mínimo hacer transpirar

#### 20% : Practicidad

- 9% desmontable/rebatible/plegable
- 9% mínimo peso
- 2% impermeable/resistente al agua

#### 5% : Atractivo

- 5% mínimo contraste con el entorno (Apariencia agradable)

#### 20% : Económico

- 20% mínimo costo

#### NP: Útil

- NP: correcta guía y sostén del torso

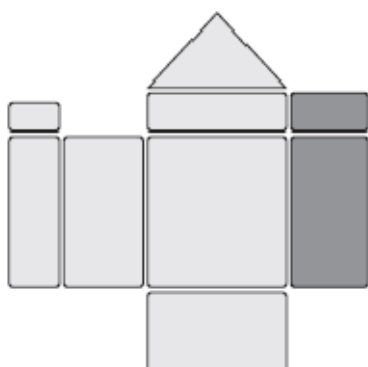
#### NP : Adaptable

- NP: adaptable a silla de ruedas universal

#### 20% : Durable

- 20% máxima durabilidad
-

**Paso 4: ¿AHORA? ¿AHORA vs QUÉ?**



Alternativas: - Instituto Nuevo Amanecer  
- Universidade Federal Rio Grande do Sul (UFRGS)

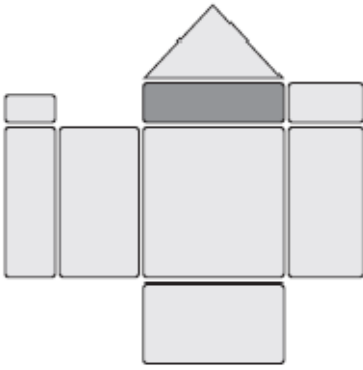
Cumplimiento de los requisitos - Instituto Nuevo Amanecer:

- 1: mínimo tiempo de personalización
- 1: mínima invasividad/contacto con el usuario
- 5: rigidez una vez seteado
- 5: copiado adecuado de la morfología
- 4: ergonómico (mullido/ángulo/altura/etc)
- 1: mínimo hacer transpirar
- 3: desmontable/rebatible/plegable
- 3: mínimo peso
- 2: impermeable/resistente al agua
- 1: mínimo contraste con el entorno (Apariencia agradable)
- 2: mínimo costo
- 5: correcta guía y sostén del torso
- 5: adaptable a silla de ruedas universal
- 1: máxima durabilidad

Cumplimiento de los requisitos - UFRGS:

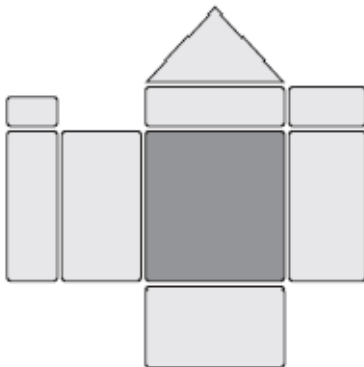
- 2: mínimo tiempo de personalización
  - 4: mínima invasividad/contacto con el usuario
  - 5: rigidez una vez seteado
  - 5: copiado adecuado de la morfología
  - 4: ergonómico (mullido/ángulo/altura/etc)
  - 1: mínimo hacer transpirar
  - 3: desmontable/rebatible/plegable
  - 3: mínimo peso
  - 2: impermeable/resistente al agua
  - 1: mínimo contraste con el entorno (Apariencia agradable)
  - 1: mínimo costo
  - 5: correcta guía y sostén del torso
  - 5: adaptable a silla de ruedas universal
  - 1: máxima durabilidad
-

### Paso 5: ¿CÓMO?



- tiempo de copiado/obtención de morfología (mejor: ↓ ; unidad: [s])
- desnudez del torso del usuario (mejor: ↓ ; unidad: [%])
- tiempo de contacto con usuario (mejor: ↓ ; unidad: [s])
- cantidad de contactos equipo-usuario (mejor: ↓ ; unidad: [Nº])
- error del método de obtención de morfología (mejor: ↓ ; unidad: [mm])
- cantidad de puntos de referencia (mejor: ↑ ; unidad: [Nº])
- separación entre puntos de referencia (mejor: ↓ ; unidad: [mm])
- superficie de contacto dispositivo-usuario (mejor: ↑ ; unidad: [mm<sup>2</sup>])
- presión de contacto dispositivo-usuario (mejor: ↓ ; unidad: [N/mm<sup>2</sup>])
- superficie del torso del usuario abierta al aire (mejor: ↑ ; unidad: [mm<sup>2</sup>])
- impermeabilidad de la superficie de contacto dispositivo-usuario (mejor: ↓ ; unidad: [columna de agua/mm<sup>2</sup>])
- tiempo de desmontaje del dispositivo (mejor: ↓ ; unidad: [s])
- cantidad de pasos para desmontar el dispositivo (mejor: ↓ ; unidad: [Nº])
- tiempo de montaje del dispositivo (mejor: ↓ ; unidad: [s])
- cantidad de pasos para montar el dispositivo (mejor: ↓ ; unidad: [Nº])
- masa del dispositivo (mejor: ↓ ; unidad: [kg])
- impermeabilidad de la superficie expuesta del dispositivo (mejor: ↑ ; unidad: [columna de agua/mm<sup>2</sup>])
- tiempo secado de la sup expuesta del dispositivo (mejor: ↓ ; unidad: [s])
- superficie del dispositivo abierta al aire (mejor: ↑ ; unidad: [mm<sup>2</sup>])
- dist. máxima a la cual se percibe el dispositivo (mejor: ↓ ; unidad: [m])
- costo de obtener la morfología del torso (mejor: ↓ ; unidad: [\$])
- costo de los materiales del dispositivo (mejor: ↓ ; unidad: [\$])
- costo de fabricación del dispositivo (mejor: ↓ ; unidad: [\$])
- costo de mantenimiento (mejor: ↓ ; unidad: [\$])
- cant veces que puede reutilizarse el dispositivo modificando el formato (mejor: ↑ ; unidad: [Nº])
- vida útil del dispositivo (mejor: ↑ ; unidad: [meses])

### Paso 6: ¿QUÉ vs CÓMO?



Se consideró:

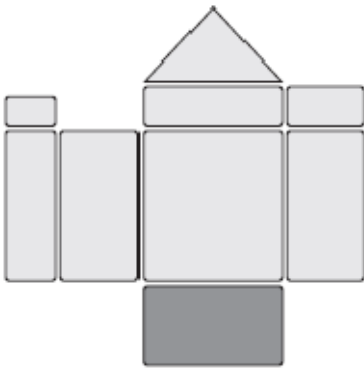
- = 9 = fuerte relación
- = 3 = media relación
- △ = 1 = débil relación
- = 0 = sin relación

En este paso no se ponderaron los siguientes requisitos ya que son básicos para el producto:

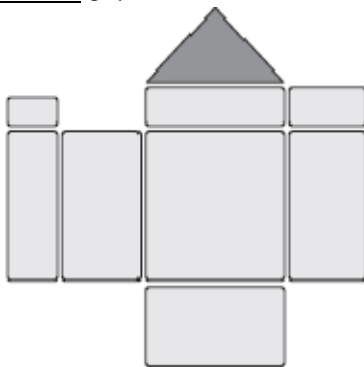
- Rigidez una vez seteado
- Correcta guía y sostén del torso
- Adaptable a silla de ruedas universal

### Paso 7: ¿CUÁNTO?

Ver QFD en ANEXO A



### Paso 8: ¿QUÉ vs CÓMO?



Para interrelacionar las especificaciones técnicas se utilizó la siguiente simbología:

- “+” = para denotar que una mejora en una de ellas, provoca efectos positivos en la otra;
- “-” = para denotar que una mejora en una de ellas, provoca efectos negativos en la otra;

### 3.4 - DEFINICIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Del desarrollo del QFD se puede concluir que las especificaciones técnicas del dispositivo son:

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:
<ul style="list-style-type: none"><li>• tiempo de copiado/obtención de morfología (mejor:↓ ; unidad: [s])</li><li>• desnudez del torso del usuario (mejor:↓ ; unidad: [%])</li><li>• tiempo de contacto con usuario (mejor:↓ ; unidad: [s])</li><li>• cantidad de contactos equipo-usuario (mejor:↓ ; unidad: [Nº])</li><li>• error del método de obtención de morfología (mejor:↓ ; unidad: [mm])</li><li>• cantidad de puntos de referencia (mejor: ↑ ; unidad: [Nº])</li><li>• separación entre puntos de referencia (mejor:↓ ; unidad: [mm])</li><li>• superficie de contacto dispositivo-usuario (mejor: ↑ ; unidad: [mm<sup>2</sup>])</li><li>• presión de contacto dispositivo-usuario (mejor:↓ ; unidad: [N/mm<sup>2</sup>])</li><li>• superficie del torso del usuario abierta al aire (mejor: ↑ ; unidad:[mm<sup>2</sup>])</li><li>• impermeabilidad de la superficie de contacto dispositivo-usuario (mejor:↓ ; unidad: [columna de agua/mm<sup>2</sup>])</li><li>• tiempo de desmontaje del dispositivo (mejor:↓ ; unidad: [s])</li><li>• cantidad de pasos para desmontar el dispositivo (mejor:↓;unidad:[Nº])</li><li>• tiempo de montaje del dispositivo (mejor:↓ ; unidad: [s])</li><li>• cantidad de pasos para montar el dispositivo (mejor:↓ ; unidad: [Nº])</li><li>• masa del dispositivo (mejor:↓ ; unidad: [kg])</li><li>• impermeabilidad de la superficie expuesta del dispositivo (mejor: ↑ ; unidad: [columna de agua/mm<sup>2</sup>])</li><li>• tiempo secado de la sup expuesta del dispositivo(mejor:↓;unidad:[s])</li><li>• superficie del dispositivo abierta al aire (mejor: ↑ ; unidad: [mm<sup>2</sup>])</li><li>• dist. máxima a la cual se percibe el dispositivo(mejor:↓;unidad:[m])</li><li>• costo de obtener la morfología del torso (mejor:↓ ; unidad: [\$])</li><li>• costo de los materiales del dispositivo (mejor:↓ ; unidad: [\$])</li><li>• costo de fabricación del dispositivo (mejor:↓ ; unidad: [\$])</li><li>• costo de mantenimiento (mejor:↓ ; unidad: [\$])</li><li>• cant veces que puede reutilizarse el dispositivo modificando el formato (mejor: ↑ ; unidad: [Nº])</li><li>• vida útil del dispositivo (mejor: ↑ ; unidad: [meses])</li></ul>

### 3.5 - REFERENCIAS

[1] Ullman, D. G. – *Handbook of the Mechanical Design Process* – McGraw Hill, 4ªedición, 2010

## 4 - DISEÑO CONCEPTUAL

### 4.1 - INTRODUCCIÓN

Teniendo en consideración las premisas, restricciones y las funciones que debe cumplir el dispositivo se procede a realizar el diseño conceptual. Un *concepto* es una idea lo suficientemente desarrollada para evaluar los principios físicos que gobiernan su comportamiento (...) y la funcionalidad de la idea pueda ser asegurada [1].

### 4.2 - PREMISAS Y REESTRICCIONES

- El ángulo de inclinación de la espalda con respecto al plano horizontal de las piernas es de 90° a 110°
- Se considera que de haber modificaciones en el torso del usuario, éstas se pueden notar en un período mínimo de 6 meses. Por lo tanto, cada 6 meses el kinesiólogo debe verificar si han habido modificaciones en la morfología del torso del usuario, y si el dispositivo sigue siendo adecuado o debe readaptarse al nuevo torso.

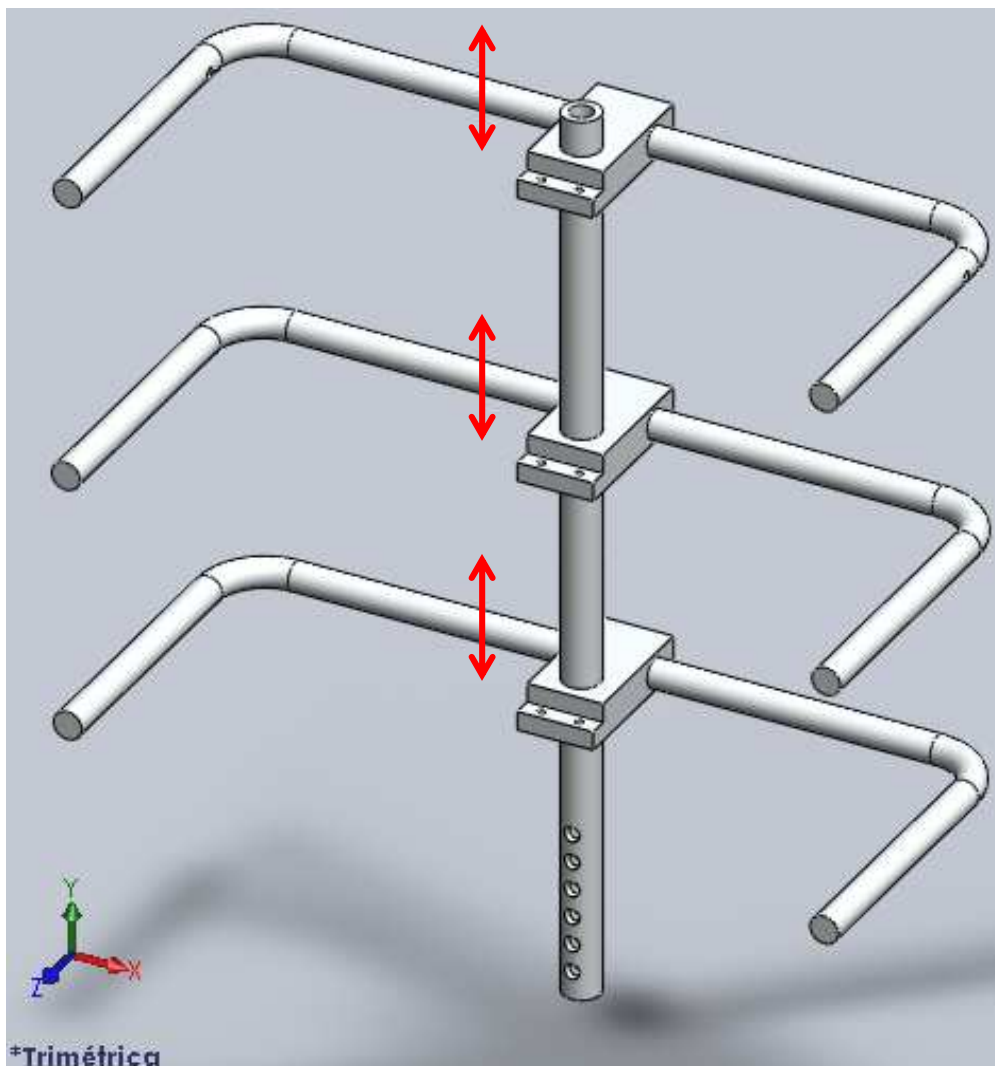
### 4.3 - FUNCIONES DEL DISPOSITIVO

A raíz del QFD desarrollado en el capítulo 3, se puede concluir que las funciones del dispositivo son:

FUNCIONES:
<ul style="list-style-type: none"><li>• Copiar adecuadamente la morfología del torso del usuario</li><li>• Requerir el menor tiempo posible de personalización</li><li>• Requerir mínima invasividad/contacto con el usuario</li><li>• Poseer rigidez una vez seteado</li><li>• Ser ergonómico (mullido, ángulo, altura, etc)</li><li>• Generar la menor transpiración posible</li><li>• Ser desmontable/rebatible/plegable</li><li>• Poseer el mínimo peso posible</li><li>• Ser impermeable/resistente al agua</li><li>• Generar el mínimo contraste con el entorno (Apariencia agradable)</li><li>• Generar el mínimo costo</li><li>• Guiar y sostener el torso del usuario adecuadamente</li><li>• Ser adaptable a silla de ruedas universal</li><li>• Poseer la máxima vida útil posible</li></ul>

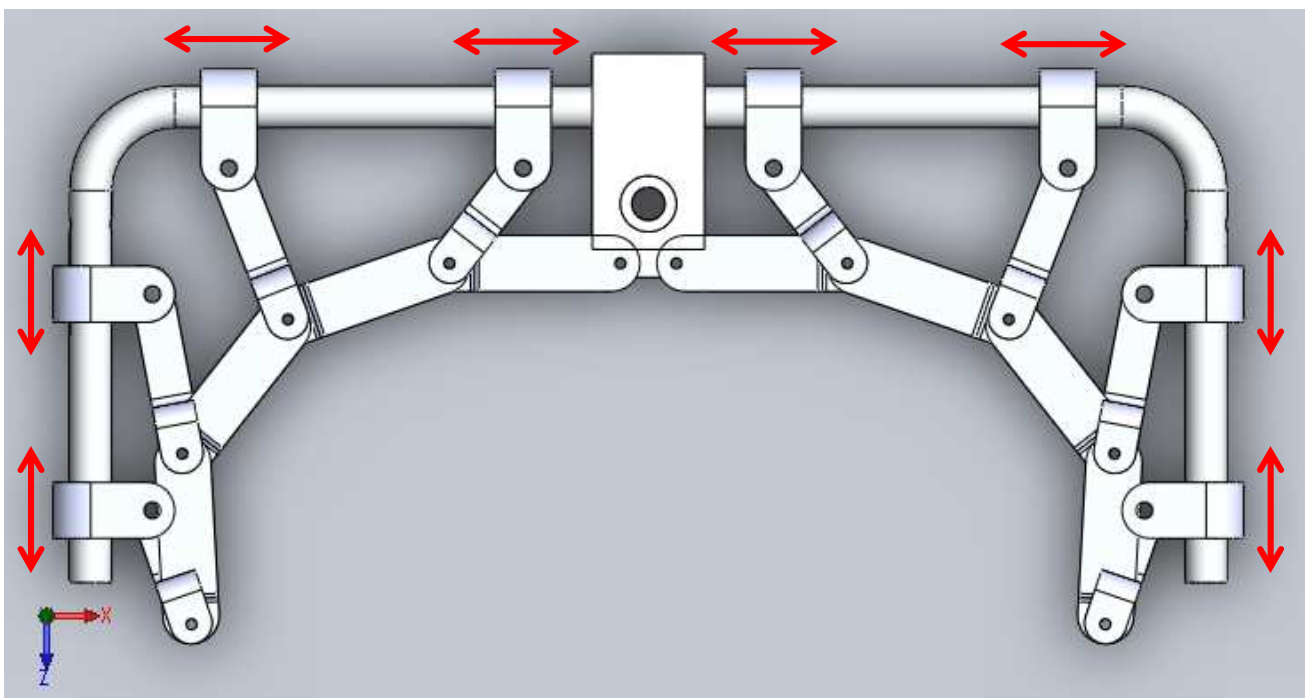
#### 4.4 - DESARROLLO DEL DISEÑO CONCEPTUAL

El dispositivo consiste en un tubo soporte central y tres costillas que pueden desplazarse verticalmente por el tubo soporte. Esto es para que las alturas a las cuales se encuentra cada costilla sean modificables y se adapten al tamaño del torso del usuario. Una vez que el kinesiólogo ubicó las costillas a la altura deseada, debe poder fijarse su posición.

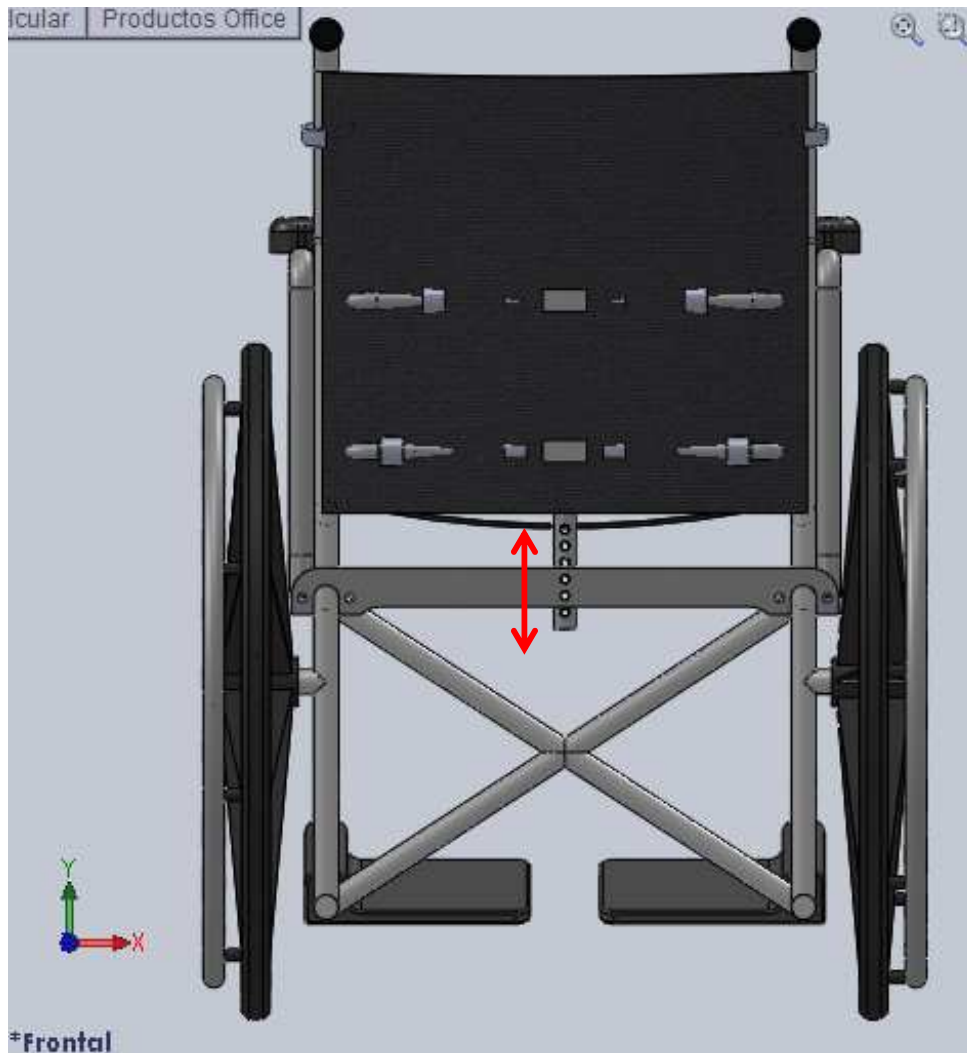


Cada costilla está formada por una cadena de eslabones, cuyos ángulos y posiciones pueden modificarse por medio de bielas que se desplazan a lo largo del tubo curvo que actúa de guía. Una vez que el kinesiólogo considere que ubicó los eslabones en la posición adecuada, se debe poder fijar las posiciones de las bielas, para evitar el movimiento de los eslabones durante el uso del dispositivo.

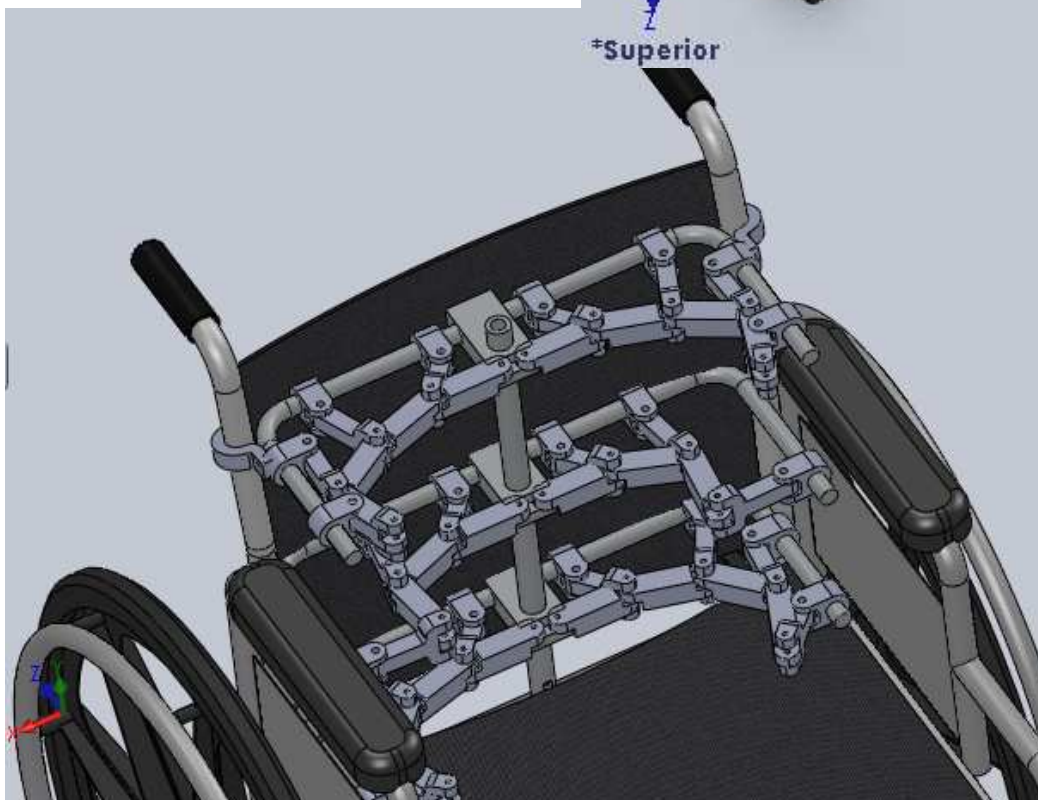
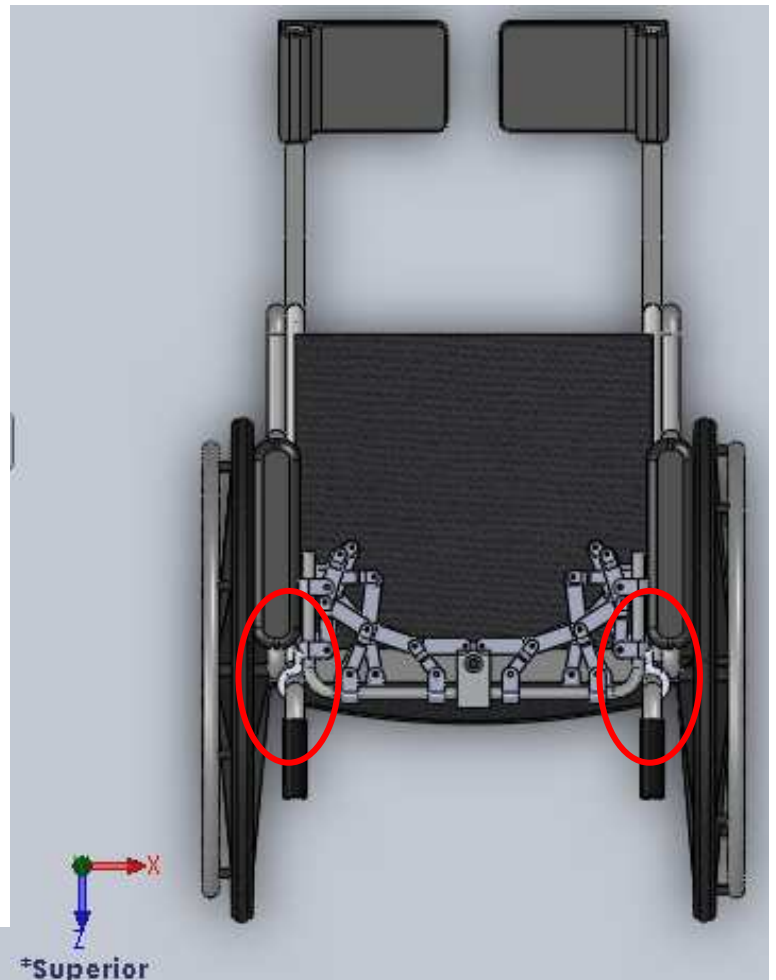
Los eslabones estarán recubiertos de manera de acolchar ergonómicamente y amortiguar el contacto dispositivo-usuario.



La fijación vertical del dispositivo a la silla de ruedas se realizará por medio de un soporte transversal que apoyará en los caños laterales de la silla de ruedas. La posición del tubo central con respecto al soporte podrá ser modificada utilizando la combinación de agujeros que sea más conveniente para el tamaño de torso del usuario.



La fijación lateral del dispositivo a la silla de ruedas se realizará por medio de dos trabas que se incorporarán a la costilla superior y se sujetarán de los caños laterales del respaldar de la silla de ruedas, para evitar que el dispositivo se incline hacia un costado.



El diseño conceptual descrito es funcional a la fase 1 *Adaptar dispositivo a la morfología del torso del usuario*, ya que la altura de cada costilla es regulable y la cadena de eslabones que forman cada costilla es regulable en posición y ángulos de cada eslabón. Por lo tanto se logra:

- Mínimo tiempo de personalización
- Mínima invasividad/contacto con el usuario
- Rigidez una vez seteado
- Copiado adecuado de la morfología

El diseño conceptual descrito es también funcional a la fase 2 *Uso diario del dispositivo*, ya que se adapta a la morfología del usuario siendo guía y sostén del torso, y por medio del soporte transversal y las dos trabas laterales, es fácilmente montable y desmontable de cualquier silla de ruedas universal, sin necesidad de realizar modificación alguna a la silla. Por lo tanto se logra:

- Correcta guía y sostén del torso
- Adaptable a silla de ruedas universal
- Desmontable

#### **4.5 - REFERENCIAS**

[1] Ullman, D. G. – *Handbook of the Mechanical Design Process* – McGraw Hill, 4ª edición, 2010

## 5 - SÍNTESIS CINEMÁTICA

### 5.1 - INTRODUCCIÓN

El término *síntesis cinemática* se refiere al diseño o creación de un mecanismo para obtener un conjunto deseado de características de movimiento. [1]

#### SÍNTESIS vs ANÁLISIS: [1]

La síntesis (o diseño) y el análisis son dos aspectos completamente distintos en el estudio de los sistemas mecánicos. El término síntesis refiere al proceso de idear un patrón o método para lograr un propósito dado, es el proceso de establecer tamaños, formas, composiciones de los materiales y disposiciones de las piezas de tal modo que la máquina resultante desempeñe las tareas prescritas.

En cambio, el análisis se trata de técnicas que permiten que el diseñador examine en forma crítica un diseño ya existente o propuesto con el fin de determinar si es adecuado para el trabajo de que se trate. Por ende, el análisis, por si solo, no es una ciencia creativa sino más bien de evaluación y clasificación de cosas ya concebidas.

Es preciso tener siempre en mente que aunque la mayor parte de los esfuerzos realizados se dediquen al análisis, la meta real es la síntesis, es decir, el diseño de una máquina o un sistema. El análisis es una simple herramienta y, sin embargo, es tan vital que se usará inevitablemente como uno de los pasos en el proceso de diseño.

#### CINEMÁTICA: [2]

La CINEMÁTICA es la parte de la Mecánica Teórica que estudia el movimiento mecánico solamente desde el punto de vista geométrico, sin tener en cuenta las acciones mutuas que determinan ese movimiento. En otras palabras, la Cinemática estudia el cambio con el tiempo de la posición geométrica de los cuerpos. Recordemos las HIPÓTESIS de la Cinemática:

- a) *Punto material:* partícula material cuyas dimensiones en las condiciones del problema estudiado pueden ser despreciadas. Difiere del punto geométrico en que el punto material presupone la concentración de determinada cantidad de materia. Por ello, el punto material posee la propiedad de inercia y la capacidad de actuar recíprocamente con otros puntos materiales.
- b) *Cuerpo rígido:* Cuerpo físico representado como un sistema de puntos materiales en el cual la distancia entre cada par de puntos permanece invariable en todas las condiciones. En otras palabras, el cuerpo rígido conserva invariable su forma geométrica, y no se deforma.




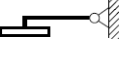

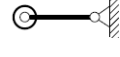

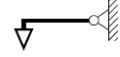

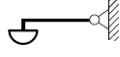
## 5.2 - ESQUEMA CINEMÁTICO




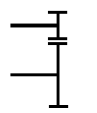
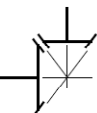
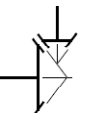
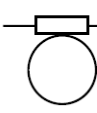
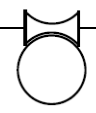
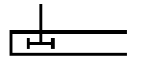


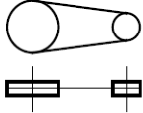
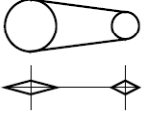
A partir del diseño conceptual del respaldar expuesto en el capítulo 4, se procedió a realizar el esquema cinemático de cada costilla los cuales pueden verse en los planos .....en las páginas siguientes.

Para ello se utilizaron los símbolos normalizados para la representación de los elementos indicados en la norma UNE-EN ISO 3952: [3]

variables y parámetros	
coordenadas de posición y de orientación	
miembros en general	
elemento barra	
elemento fijo	

par de revolución o articulación	
par prismático o guía-corredera	
par helicoidal	
par cilíndrico	
par plano	
par esférico o rótula esférica	
junta universal	
corredera con articulación	
par guía-hotón	
unión rígida entre miembros	
articulaciones en medio de barras	

leva plana de rotación	 con articulación fija	
leva plana de traslación		
palpadores	de traslación	de rotación
	plano 	
	de rodillo 	
	puntual 	
	curvo 	

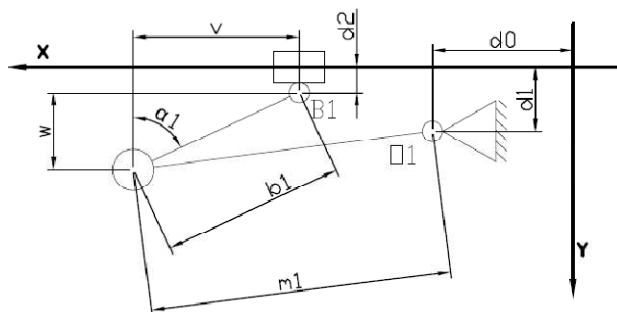
ruedas dentadas	 cilíndrica exterior	 cilíndrica interior	 cónica
transmisión por ruedas dentadas (engranajes)	 cilíndrico	 cónico	 hipoide
	 tornillo sin fin cilíndrico	 tornillo sin fin glóbico	 piñón-cremallera
embragues y frenos	 embrague	 freno	
transmisiones por correa y cadena	 correa	 cadena	

### 5.3 - SÍNTESIS CINEMÁTICA DE COSTILLA INFERIOR

De esquema en plano EIM-01-05-M-001.dwg folio 1 (ANEXO B) se deduce:

- (1)  $O_1 = (d_0 ; d_1)$
- (2)  $A_1 = (d_0 + m_1 * \sin \theta_1 ; d_1 + m_1 * \cos \theta_1)$
- (3)  $B_1 = \left( x_{A1} \pm b_1 * \sin \left[ \cos^{-1} \left( \frac{y_{A1} - d_2}{b_1} \right) \right] ; d_2 \right)$  desarrollo en cuadro 1
- (4)  $C_1 = (x_{B1} ; 0)$
- (5)  $\theta_{1 \text{ MIN}} = \cos^{-1} \left( \frac{d_2 + b_1 - d_1}{m_1} \right)$  desarrollo en cuadro 2
- (6)  $\theta_{1 \text{ MAX}} = 90^\circ$
- (7)  $A_2 = (x_{A1} + m_2 * \sin \theta_2 ; y_{A1} + m_2 * \cos \theta_2)$
- (8)  $B_2 = \left( x_{A2} - b_2 * \sin \left[ \cos^{-1} \left( \frac{y_{A2} - d_2}{b_2} \right) \right] ; d_2 \right)$
- (9)  $C_2 = (x_{B2} ; 0)$
- (10)  $\theta_{2 \text{ MIN}} = \cos^{-1} \left( \frac{d_2 + b_2 - y_{A1}}{m_2} \right)$
- (11)  $\theta_{2 \text{ MAX}} = 90^\circ$
- (12)  $A_3 = (x_{A2} + m_3 * \sin \theta_3 ; y_{A2} + m_3 * \cos \theta_3)$
- (13)  $B_3 = \left( d_5 - d_2 ; y_{A3} - b_3 * \sin \left[ \cos^{-1} \left( \frac{d_5 - d_2 - x_{A3}}{b_3} \right) \right] \right)$
- (14)  $C_3 = (d_5 ; y_{B3})$
- (15)  $\theta_{3 \text{ MIN}} = \sin^{-1} \left( \frac{d_5 - x_{A2} - b_3 - d_2}{m_3} \right)$
- (16)  $\theta_{3 \text{ MAX}} = 90^\circ$
- (17)  $A_4 = (x_{A3} + m_4 * \sin \theta_4 ; y_{A3} + m_4 * \cos \theta_4)$
- (18)  $B_4 = \left( d_5 - d_2 ; y_{A4} - b_4 * \sin \left[ \cos^{-1} \left( \frac{d_5 - d_2 - x_{A4}}{b_4} \right) \right] \right)$
- (19)  $C_4 = (d_5 ; y_{B4})$
- (20)  $\theta_{4 \text{ MIN}} = \sin^{-1} \left( \frac{d_5 - b_4 - d_2}{m_4} \right)$
- (21)  $\theta_{4 \text{ MAX}} = 90^\circ$

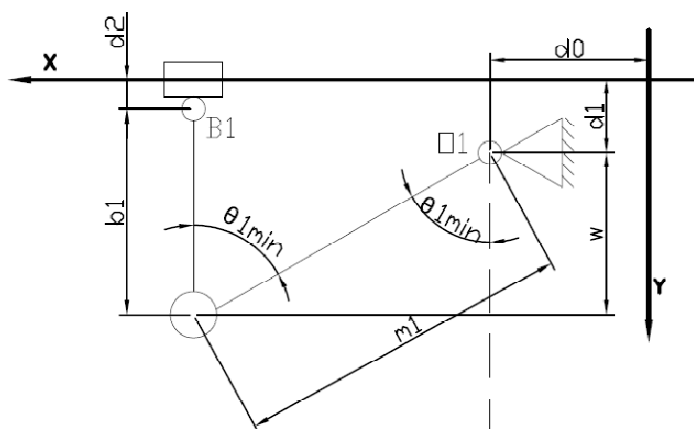
**CUADRO 1:**



$$w = b_1 * \cos \alpha_1 \quad \alpha_1 = \cos^{-1} \left( \frac{w}{b_1} \right) = \cos^{-1} \left( \frac{y_A - d_2}{b_1} \right)$$

$$v = b_1 * \sin \alpha_1 = b_1 * \sin \left[ \cos^{-1} \left( \frac{y_A - d_2}{b_1} \right) \right]$$

**CUADRO 2:**



$$w = m_1 * \cos \theta_{1MIN} = d_2 + b_1 - d_1 \quad \theta_{1MIN} = \cos^{-1} \left( \frac{d_2 + b_1 - d_1}{m_1} \right)$$

#### 5.4 - SÍNTESIS CINEMÁTICA DE COSTILLA MEDIA

De esquema en plano EIM-01-05-M-001.dwg folio 2 (ANEXO B) se deduce:

$$(22) \quad O_{11} = (d_0 ; d_1)$$

$$(23) \quad A_{11} = (d_0 + m_1 * \sin \theta_{11} ; d_1 + m_1 * \cos \theta_{11})$$

$$(24) \quad B_{11} = \left( x_{A11} \pm b_1 * \sin \left[ \cos^{-1} \left( \frac{y_{A11} - d_2}{b_1} \right) \right] ; d_2 \right)$$

$$(25) \quad C_{11} = (x_{B11} ; 0)$$

$$(26) \quad \theta_{11 \text{ MIN}} = \cos^{-1} \left( \frac{d_2 + b_1 - d_1}{m_1} \right) = \theta_{1 \text{ MIN}}$$

$$(27) \quad \theta_{11 \text{ MAX}} = 90^\circ$$

$$(28) \quad A_{12} = (x_{A12} + m_2 * \sin \theta_{12} ; y_{A12} + m_2 * \cos \theta_{12})$$

$$(29) \quad B_{12} = \left( x_{A12} - b_2 * \sin \left[ \cos^{-1} \left( \frac{y_{A12} - d_2}{b_2} \right) \right] ; d_2 \right)$$

$$(30) \quad C_{12} = (x_{B12} ; 0)$$

$$(31) \quad \theta_{12 \text{ MIN}} = \cos^{-1} \left( \frac{d_2 + b_2 - y_{A12}}{m_2} \right)$$

$$(32) \quad \theta_{12 \text{ MAX}} = 90^\circ$$

$$(33) \quad A_{13} = (x_{A12} + m_3 * \sin \theta_{13} ; y_{A12} + m_3 * \cos \theta_{13})$$

$$(34) \quad B_{13} = \left( d_{15} - d_2 ; y_{A13} - b_3 * \sin \left[ \cos^{-1} \left( \frac{d_{15} - d_2 - x_{A13}}{b_3} \right) \right] \right)$$

$$(35) \quad C_{13} = (d_{15} ; y_{B13})$$

$$(36) \quad \theta_{13 \text{ MIN}} = \sin^{-1} \left( \frac{d_{15} - x_{A12} - b_3 - d_2}{m_3} \right)$$

$$(37) \quad \theta_{13 \text{ MAX}} = 90^\circ$$

## 5.5 - SÍNTESIS CINEMÁTICA DE COSTILLA SUPERIOR

De esquema en plano EIM-01-05-M-001.dwg folio 3 (ANEXO B) se deduce:

$$(38) \quad O_{21} = (d_0 ; d_1)$$

$$(39) \quad A_{21} = (d_0 + m_1 * \sin \theta_{21} ; d_1 + m_1 * \cos \theta_{21})$$

$$(40) \quad B_{21} = \left( x_{A21} \pm b_1 * \sin \left[ \cos^{-1} \left( \frac{y_{A21} - d_2}{b_1} \right) \right] ; d_2 \right)$$

$$(41) \quad C_{21} = (x_{B21} ; 0)$$

$$(42) \quad \theta_{21 \text{ MIN}} = \cos^{-1} \left( \frac{d_2 + b_1 - d_1}{m_1} \right) = \theta_{1 \text{ MIN}}$$

$$(43) \quad \theta_{21 \text{ MAX}} = 90^\circ$$

$$(44) \quad A_{22} = (x_{A21} + m_2 * \sin \theta_{22} ; y_{A21} + m_2 * \cos \theta_{22})$$

$$(45) \quad B_{22} = \left( x_{A22} - b_2 * \sin \left[ \cos^{-1} \left( \frac{y_{A22} - d_2}{b_2} \right) \right] ; d_2 \right)$$

$$(46) \quad C_{22} = (x_{B22} ; 0)$$

$$(47) \quad \theta_{22 \text{ MIN}} = \cos^{-1} \left( \frac{d_2 + b_2 - y_{A21}}{m_2} \right)$$

$$(48) \quad \theta_{22 \text{ MAX}} = 90^\circ$$

$$(49) \quad A_{23} = (x_{A22} + m_3 * \sin \theta_{23} ; y_{A22} + m_3 * \cos \theta_{23})$$

$$(50) \quad B_{23} = \left( d_5 - d_2 ; y_{A23} - b_3 * \sin \left[ \cos^{-1} \left( \frac{d_5 - d_2 - x_{A23}}{b_3} \right) \right] \right)$$

$$(51) \quad C_{23} = (d_5 ; y_{B23})$$

$$(52) \quad \theta_{23 \text{ MIN}} = \sin^{-1} \left( \frac{d_5 - x_{A22} - b_3 - d_2}{m_3} \right)$$

$$(53) \quad \theta_{23 \text{ MAX}} = 90^\circ$$

$$(54) \quad A_{24} = (x_{A23} + m_4 * \sin \theta_{24} ; y_{A23} + m_4 * \cos \theta_{24})$$

$$(55) \quad B_{24} = \left( d_5 - d_2 ; y_{A24} - b_4 * \sin \left[ \cos^{-1} \left( \frac{d_5 - d_2 - x_{A24}}{b_4} \right) \right] \right)$$

$$(56) \quad C_{24} = (d_5 ; y_{B24})$$

$$(57) \quad \theta_{24 \text{ MIN}} = \sin^{-1} \left( \frac{d_5 - b_4 - d_2}{m_4} \right)$$

$$(58) \quad \theta_{24 \text{ MAX}} = 90^\circ$$

## 5.6 - OPTIMIZACIÓN

Para hallar la solución óptima del cinemático descrito, se procede a realizar un programa en Excel en el cual los datos de entrada son las dimensiones:

### Datos

d0 =	15,00	mm
d1 =	55,00	mm
d2 =	22,00	mm
d3 =	20,00	mm --> longitud de corredera
d4 =	27,00	mm --> ancho de corredera
d5 =	200,00	mm --> semiancho de dispositivo
m1 =	61,00	mm --> longitud de manivela N°1
b1 =	43,00	mm --> longitud de biela N°1
m2 =	61,00	mm --> longitud de manivela N°2
b2 =	58,00	mm --> longitud de biela N°2
m3 =	61,00	mm --> longitud de manivela N°3
b3 =	58,00	mm --> longitud de biela N°3
m4 =	61,00	mm --> longitud de manivela N°4
b4 =	43,00	mm --> longitud de biela N°4
d15 =	160,00	mm --> semiancho de costilla media

Modificando los datos de entrada se obtienen diferentes combinaciones de ángulos límites utilizando las fórmulas 5, 6, 10, 11, 15, 16, 20, 21, 26, 27, 31, 32, 36, 37, 42, 43, 47, 48, 52, 53, 57 y 58:

### Costilla Inferior

$\theta_{1 \min} =$	80,56	$\varrho =$	1,406	rad
$\theta_{1 \max} =$	90,00	$\varrho =$	1,571	rad
$\Delta\theta_1 =$	0,67	$\varrho =$	0,012	rad

$\theta_{2 \min} =$	68,73	$\varrho =$	1,200	rad
$\theta_{2 \max} =$	90,00	$\varrho =$	1,571	rad
$\Delta\theta_2 =$	1,52	$\varrho =$	0,027	rad

$\theta_{3 \min} =$	-15,09	$\varrho =$	-0,263	rad
$\theta_{3 \max} =$	90,00	$\varrho =$	1,571	rad
$\Delta\theta_3 =$	7,51	$\varrho =$	0,131	rad

$\theta_{4 \min} =$	-38,51	$\varrho =$	-0,672	rad
$\theta_{4 \max} =$	90,00	$\varrho =$	1,571	rad
$\Delta\theta_4 =$	9,18	$\varrho =$	0,160	rad

### Costilla Media

$\theta_{11 \min} =$	80,56	$\varrho =$	1,406	rad
$\theta_{11 \max} =$	90,00	$\varrho =$	1,571	rad
$\Delta\theta_{11} =$	0,67	$\varrho =$	0,012	rad

$\theta_{12 \min} =$	79,76	$\varrho =$	1,392	rad
$\theta_{12 \max} =$	90,00	$\varrho =$	1,571	rad
$\Delta\theta_{12} =$	0,73	$\varrho =$	0,013	rad

$\theta_{13 \min} =$	-66,10	$\varrho =$	-1,154	rad
$\theta_{13 \max} =$	90,00	$\varrho =$	1,571	rad
$\Delta\theta_{13} =$	11,15	$\varrho =$	0,195	rad

### Costilla Superior

$\theta_{21 \min} =$	80,56	$\varrho =$	1,406	rad
$\theta_{21 \max} =$	90,00	$\varrho =$	1,571	rad
$\Delta\theta_{21} =$	0,67	$\varrho =$	0,012	rad

$\theta_{22 \min} =$	70,88	$\varrho =$	1,237	rad
$\theta_{22 \max} =$	90,00	$\varrho =$	1,571	rad
$\Delta\theta_{22} =$	1,37	$\varrho =$	0,024	rad

$\theta_{23 \min} =$	-13,57	$\varrho =$	-0,237	rad
$\theta_{23 \max} =$	90,00	$\varrho =$	1,571	rad
$\Delta\theta_{23} =$	7,40	$\varrho =$	0,129	rad

$\theta_{24 \min} =$	-37,40	$\varrho =$	-0,653	rad
$\theta_{24 \max} =$	90,00	$\varrho =$	1,571	rad
$\Delta\theta_{24} =$	9,10	$\varrho =$	0,159	rad

Utilizando las coordenadas de los nodos de cada costilla desarrolladas en las secciones 5.3, 5.4 y 5.5 se obtiene:

**Coordenadas:**

	X	Y	
O1 =	15,00	55,00	mm
A1 =	75,93	57,87	mm
B1 =	52,22	22,00	mm
C1 =	52,22	0,00	mm
$\theta 1 \ i-1 =$	1,512		rad
$\theta 1 \ i =$	1,524		rad
$\theta 1 \ i+1 =$	1,536		rad
A2 =	135,88	69,13	mm
B2 =	102,08	22,00	mm
C2 =	102,08	0,00	mm
$\theta 2 \ i-1 =$	1,359		rad
$\theta 2 \ i =$	1,385		rad
$\theta 2 \ i+1 =$	1,412		rad
A3 =	172,98	117,55	mm
B3 =	178,00	59,77	mm
C3 =	200,00	59,77	mm
$\theta 3 \ i-1 =$	0,523		rad
$\theta 3 \ i =$	0,654		rad
$\theta 3 \ i+1 =$	0,785		rad
A4 =	168,52	178,39	mm
B4 =	178,00	136,45	mm
C4 =	200,00	136,45	mm
$\theta 4 \ i-1 =$	-0,233		rad
$\theta 4 \ i =$	-0,073		rad
$\theta 4 \ i+1 =$	0,087		rad

**Coordenadas:**

	X	Y	
O11 =	15,00	55,00	mm
A11 =	75,96	57,15	mm
B11 =	51,20	22,00	mm
C11 =	51,20	0,00	mm
$\theta 11 \ i-1 =$	1,524		rad
$\theta 11 \ i =$	1,536		rad
$\theta 11 \ i+1 =$	1,547		rad
A12 =	135,77	69,16	mm
B12 =	102,00	22,00	mm
C12 =	102,00	0,00	mm
$\theta 12 \ i-1 =$	1,360		rad
$\theta 12 \ i =$	1,373		rad
$\theta 12 \ i+1 =$	1,385		rad
A13 =	124,81	129,17	mm
B13 =	138,00	72,69	mm
C13 =	160,00	72,69	mm
$\theta 13 \ i-1 =$	-0,375		rad
$\theta 13 \ i =$	-0,181		rad
$\theta 13 \ i+1 =$	0,014		rad

**Coordenadas:**

	X	Y	
O21 =	15,00	55,00	mm
A21 =	75,79	60,02	mm
B21 =	55,70	22,00	mm
C21 =	55,70	0,00	mm
$\theta 21 \ i-1 =$	1,477		rad
$\theta 21 \ i =$	1,488		rad
$\theta 21 \ i+1 =$	1,500		rad
A22 =	134,31	77,23	mm
B22 =	116,61	22,00	mm
C22 =	116,61	0,00	mm
$\theta 22 \ i-1 =$	1,261		rad
$\theta 22 \ i =$	1,285		rad
$\theta 22 \ i+1 =$	1,309		rad
A23 =	172,05	125,16	mm
B23 =	178,00	67,46	mm
C23 =	200,00	67,46	mm
$\theta 23 \ i-1 =$	0,538		rad
$\theta 23 \ i =$	0,667		rad
$\theta 23 \ i+1 =$	0,796		rad
A24 =	170,99	186,15	mm
B24 =	178,00	143,73	mm
C24 =	200,00	143,73	mm
$\theta 24 \ i-1 =$	-0,176		rad
$\theta 24 \ i =$	-0,017		rad
$\theta 24 \ i+1 =$	0,141		rad

Para graficar la costilla inferior se calcula:

Manivela 1:		Biela 1:		Corredera 1:		Trayectoria A1:		
X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	$\theta$ [rad]	X [mm]	Y [mm]
15,00	55,00	75,93	57,87	52,22	22,00	1,4061	75,1747	65,0000
75,93	57,87	52,22	22,00	52,22	13,50	1,4179	75,2882	64,2915
		62,22	13,50	42,22	13,50	1,4296	75,3933	63,5817
		42,22	13,50	42,22	13,50	1,4414	75,4901	62,8708
		42,22	13,50	42,22	13,50	1,4532	75,5785	62,1587
		42,22	-13,50	42,22	-13,50	1,4649	75,6585	61,4457
		42,22	-13,50	42,22	-13,50	1,4767	75,7301	60,7317
		62,22	-13,50	62,22	-13,50	1,4885	75,7933	60,0170
		62,22	-13,50	62,22	-13,50	1,5002	75,8481	59,3016
		62,22	13,50	62,22	13,50	1,5120	75,8945	58,5856
						1,5237	75,9325	57,8690
						1,5355	75,9620	57,1521
						1,5473	75,9831	56,4349
						1,5590	75,9958	55,7175
						1,5708	76,0000	55,0000

Manivela 2:		Biela 2:		Corredera 2:		Trayectoria A2:		
X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	$\theta$ [rad]	X [mm]	Y [mm]
75,93	57,87	135,88	69,13	102,08	22,00	1,1995	132,7763	80,0000
135,88	69,13	102,08	22,00	102,08	13,50	1,2260	133,3432	78,4849
				112,08	13,50	1,2526	133,8696	76,9553
				92,08	13,50	1,2791	134,3554	75,4123
				92,08	13,50	1,3056	134,8000	73,8570
				92,08	-13,50	1,3321	135,2033	72,2904
				92,08	-13,50	1,3586	135,5648	70,7137
				112,08	-13,50	1,3852	135,8844	69,1280
				112,08	-13,50	1,4117	136,1619	67,5343
				112,08	13,50	1,4382	136,3970	65,9338
						1,4647	136,5896	64,3277
						1,4912	136,7395	62,7170
						1,5178	136,8467	61,1029
						1,5443	136,9110	59,4865
						1,5708	136,9325	57,8690

Manivela 3:		Biela 3:		Corredera 3:		Trayectoria A3:		
X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	$\theta$ [rad]	X [mm]	Y [mm]
135,88	69,13	172,98	117,55	178,00	59,77	-0,2634	120,0000	128,0235
172,98	117,55	178,00	59,77	186,50	59,77	-0,1324	127,8304	129,5939
				186,50	69,77	-0,0014	135,7988	130,1279
				186,50	49,77	0,1296	143,7687	129,6163
				186,50	49,77	0,2606	151,6035	128,0679
				213,50	49,77	0,3916	159,1688	125,5092
				213,50	49,77	0,5227	166,3350	121,9840
				213,50	69,77	0,6537	172,9792	117,5529
				213,50	69,77	0,7847	178,9877	112,2917
				186,50	69,77	0,9157	184,2573	106,2907
						1,0467	188,6977	99,6527
						1,1777	192,2329	92,4914
						1,3088	194,8022	84,9297
						1,4398	196,3617	77,0971
						1,5708	196,8844	69,1280

Manivela 4:		Biela 4:		Corredera 4:		Trayectoria A4:		
X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	$\theta$ [rad]	X [mm]	Y [mm]
172,98	117,55	168,52	178,39	178,00	136,45	-0,6721	135,0000	165,2873
168,52	178,39	178,00	136,45	186,50	136,45	-0,5119	143,1010	170,7346
				186,50	146,45	-0,3517	151,9671	174,8198
				186,50	126,45	-0,1915	161,3715	177,4383
				186,50	126,45	-0,0313	171,0731	178,5231
				213,50	126,45	0,1290	180,8235	178,0464
				213,50	126,45	0,2892	190,3730	176,0205
				213,50	146,45	0,4494	199,4770	172,4971
				213,50	146,45	0,6096	207,9025	167,5666
				186,50	146,45	0,7698	215,4335	161,3552
						0,9300	221,8772	154,0219
						1,0902	227,0686	145,7547
						1,2504	230,8747	136,7652
						1,4106	233,1981	127,2837
						1,5708	233,9792	117,5529

Para graficar la costilla media se calcula:

Manivela 11:		Biela 11:		Corredera 11:		Trayectoria A11:		
X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	$\theta$ [rad]	X [mm]	Y [mm]
15,00	55,00	75,96	57,15	51,20	22,00	1,4061	75,1747	65,0000
75,96	57,15	51,20	22,00	51,20	13,50	1,4179	75,2882	64,2915
				61,20	13,50	1,4296	75,3933	63,5817
				41,20	13,50	1,4414	75,4901	62,8708
				41,20	13,50	1,4532	75,5785	62,1587
				41,20	-13,50	1,4649	75,6585	61,4457
				41,20	-13,50	1,4767	75,7301	60,7317
				61,20	-13,50	1,4885	75,7933	60,0170
				61,20	-13,50	1,5002	75,8481	59,3016
				61,20	13,50	1,5120	75,8945	58,5856
						1,5237	75,9325	57,8690
						1,5355	75,9620	57,1521
						1,5473	75,9831	56,4349
						1,5590	75,9958	55,7175
						1,5708	76,0000	55,0000

Manivela 12:		Biela 12:		Corredera 12:		Trayectoria A12:		
X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	$\theta$ [rad]	X [mm]	Y [mm]
75,96	57,15	135,77	69,16	102,00	22,00	1,3921	135,9909	67,9937
135,77	69,16	102,00	22,00	102,00	13,50	1,4049	136,1243	67,2267
				112,00	13,50	1,4176	136,2480	66,4580
				92,00	13,50	1,4304	136,3619	65,6879
				92,00	13,50	1,4432	136,4659	64,9163
				92,00	-13,50	1,4559	136,5600	64,1435
				92,00	-13,50	1,4687	136,6443	63,3696
				112,00	-13,50	1,4815	136,7187	62,5946
				112,00	-13,50	1,4942	136,7833	61,8188
				112,00	13,50	1,5070	136,8379	61,0421
						1,5197	136,8826	60,2649
						1,5325	136,9173	59,4872
						1,5453	136,9422	58,7090
						1,5580	136,9571	57,9306
						1,5708	136,9620	57,1521

Manivela 13:		Biela 13:		Corredera 13:		Trayectoria A13:		
X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	$\theta$ [rad]	X [mm]	Y [mm]
135,77	69,16	124,81	129,17	138,00	72,69	-1,1536	80,0000	93,8737
124,81	129,17	138,00	72,69	146,50	72,69	-0,9590	85,8320	104,1915
				146,50	82,69	-0,7644	93,5491	113,1869
				146,50	62,69	-0,5698	102,8601	120,5201
				146,50	62,69	-0,3752	113,4134	125,9144
				173,50	62,69	-0,1806	124,8106	129,1661
				173,50	62,69	0,0140	136,6215	130,1525
				173,50	82,69	0,2086	148,4002	128,8363
				173,50	82,69	0,4032	159,7020	125,2673
				146,50	82,69	0,5978	170,1004	119,5801
						0,7924	179,2027	111,9894
						0,9870	186,6654	102,7819
						1,1816	192,2067	92,3050
						1,3762	195,6174	80,9544
						1,5708	196,7688	69,1585

Para graficar la costilla superior se calcula:

Manivela 21:		Biela 21:		Corredera 21:		Trayectoria A21:		
X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	$\theta$ [rad]	X [mm]	Y [mm]
15,00	55,00	75,79	60,02	55,70	22,00	1,4061	75,1747	65,0000
75,79	60,02	55,70	22,00	55,70	13,50	1,4179	75,2882	64,2915
				65,70	13,50	1,4296	75,3933	63,5817
				45,70	13,50	1,4414	75,4901	62,8708
				45,70	13,50	1,4532	75,5785	62,1587
				45,70	-13,50	1,4649	75,6585	61,4457
				45,70	-13,50	1,4767	75,7301	60,7317
				65,70	-13,50	1,4885	75,7933	60,0170
				65,70	-13,50	1,5002	75,8481	59,3016
				65,70	13,50	1,5120	75,8945	58,5856
						1,5237	75,9325	57,8690
						1,5355	75,9620	57,1521
						1,5473	75,9831	56,4349
						1,5590	75,9958	55,7175
						1,5708	76,0000	55,0000

Manivela 22:		Biela 22:		Corredera 22:		Trayectoria A22:		
X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	$\theta$ [rad]	X [mm]	Y [mm]
75,79	60,02	134,31	77,23	116,61	22,00	1,2370	133,4274	80,0000
134,31	77,23	116,61	22,00	116,61	13,50	1,2609	133,8873	78,6205
				126,61	13,50	1,2847	134,3143	77,2304
				106,61	13,50	1,3086	134,7080	75,8305
				106,61	13,50	1,3324	135,0682	74,4217
				106,61	-13,50	1,3562	135,3947	73,0047
				106,61	-13,50	1,3801	135,6873	71,5802
				126,61	-13,50	1,4039	135,9460	70,1493
				126,61	-13,50	1,4278	136,1704	68,7125
				126,61	13,50	1,4516	136,3605	67,2708
						1,4754	136,5162	65,8250
						1,4993	136,6374	64,3759
						1,5231	136,7240	62,9243
						1,5470	136,7760	61,4711
						1,5708	136,7933	60,0170

Manivela 23:		Biela 23:		Corredera 23:		Trayectoria A23:		
X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	$\theta$ [rad]	X [mm]	Y [mm]
134,31	77,23	172,05	125,16	178,00	67,46	-0,2369	120,0000	136,5271
172,05	125,16	178,00	67,46	186,50	67,46	-0,1077	127,7542	137,8766
				186,50	77,46	0,0214	135,6177	138,2165
				186,50	57,46	0,1505	143,4594	137,5410
				186,50	57,46	0,2796	151,1489	135,8614
				213,50	57,46	0,4087	158,5581	133,2057
				213,50	57,46	0,5378	165,5637	129,6181
				213,50	77,46	0,6670	172,0491	125,1583
				213,50	77,46	0,7961	177,9062	119,9006
				186,50	77,46	0,9252	183,0375	113,9325
						1,0543	187,3577	107,3533
						1,1834	190,7948	100,2727
						1,3126	193,2916	92,8084
						1,4417	194,8065	85,0848
						1,5708	195,3143	77,2304

Manivela 24:		Biela 24:		Corredera 24:		Trayectoria A24:		
X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	X [mm]	Y [mm]	$\theta$ [rad]	X [mm]	Y [mm]
172,05	125,16	170,99	186,15	178,00	143,73	-0,6527	135,0000	173,6183
170,99	186,15	178,00	143,73	186,50	143,73	-0,4939	143,1306	178,8679
				186,50	153,73	-0,3351	151,9891	182,7656
				186,50	133,73	-0,1763	161,3525	185,2132
				186,50	133,73	-0,0174	170,9852	186,1490
				213,50	133,73	0,1414	180,6447	185,5497
				213,50	133,73	0,3002	190,0878	183,4301
				213,50	153,73	0,4590	199,0769	179,8438
				213,50	153,73	0,6179	207,3856	174,8808
				186,50	153,73	0,7767	214,8048	168,6663
						0,9355	221,1478	161,3566
						1,0943	226,2548	153,1357
						1,2531	229,9974	144,2106
						1,4120	232,2813	134,8059
						1,5708	233,0491	125,1583

Con las coordenadas de las manivelas, bielas y correderas que se obtuvieron en el paso anterior, se procede a graficar cada costilla. Utilizando macros, se crea un programa en el cual se puede aumentar o disminuir cualquier ángulo de las costillas, y se pueden notar automáticamente los cambios en los gráficos.

**Ángulos Costilla Inferior**

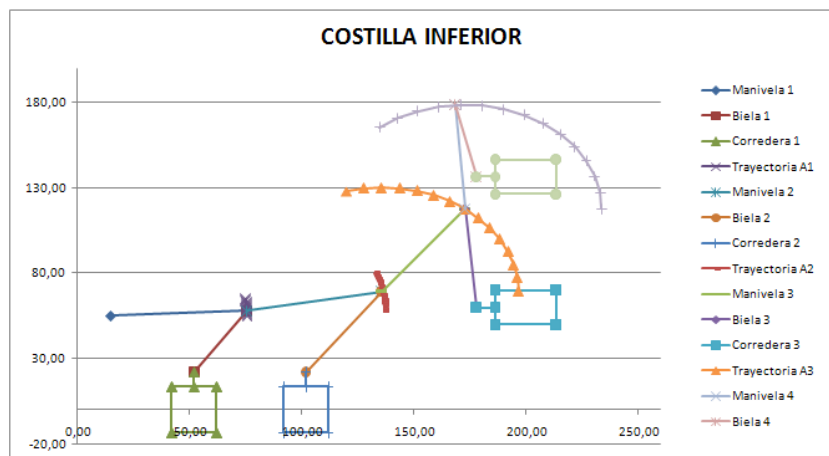
<  $\theta_1$     $\theta_1 = 87,30$    >  $\theta_1$

<  $\theta_2$     $\theta_2 = 79,36$    >  $\theta_2$

<  $\theta_3$     $\theta_3 = 37,45$    >  $\theta_3$

<  $\theta_4$     $\theta_4 = -4,20$    >  $\theta_4$

RESET



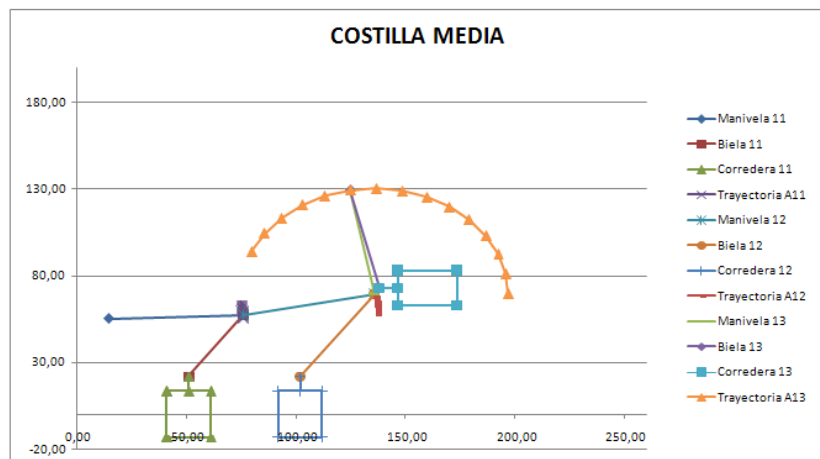
**Ángulos Costilla Media**

<  $\theta_{11}$     $\theta_{11} = 87,98$    >  $\theta_{11}$

<  $\theta_{12}$     $\theta_{12} = 78,65$    >  $\theta_{12}$

<  $\theta_{13}$     $\theta_{13} = -10,35$    >  $\theta_{13}$

RESET



**Ángulos Costilla Superior**

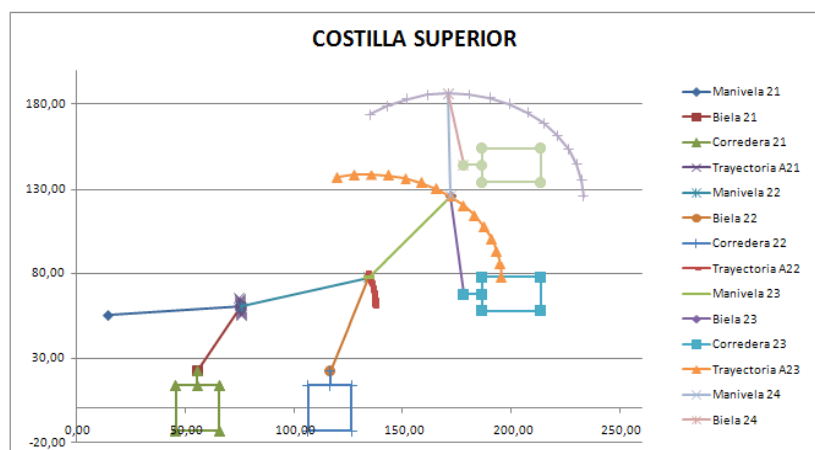
<  $\theta_{21}$     $\theta_{21} = 85,28$    >  $\theta_{21}$

<  $\theta_{22}$     $\theta_{22} = 73,61$    >  $\theta_{22}$

<  $\theta_{23}$     $\theta_{23} = 38,21$    >  $\theta_{23}$

<  $\theta_{24}$     $\theta_{24} = -1,00$    >  $\theta_{24}$

RESET



## 5.7 - REFERENCIAS

- [1] Shigley, Joseph & Uicker, John – *Teoría de Máquinas y Mecanismos*
- [2] Starzhinski, V. M. – *Mecánica Teórica* – editorial Mir, 1985
- [3] Cardona Foix, S. & Clos Costa, D. – *Teoría de Máquinas* – UPC: Universitat Politècnica de Catalunya, 2001

## 6 - ANÁLISIS ESTÁTICO

### 6.1 - INTRODUCCIÓN

El objetivo de este capítulo es calcular las fuerzas y momentos que actúan sobre cada componente del dispositivo. Para ello, se desarrollará el análisis estático implementando en cada caso las dos condiciones necesarias para que cualquier sistema genérico esté en equilibrio:

$$\sum F = 0$$
$$\sum M = 0$$

### 6.2 - ANÁLISIS ESTÁTICO DEL CONJUNTO SILLA-RESPALDAR

A partir del esquema estático del conjunto expuesto en el [folio 1](#) del plano EIM-01-06-M-001.dwg (ANEXO C) se puede concluir que para que el sistema esté en equilibrio debe cumplirse simultáneamente:

$$(6.2-1) \quad \sum F_X = -F_1 + F_{1'} = 0$$
$$(6.2-2) \quad \sum F_Y = -P * \sin \beta + 2 * \frac{N}{2} * \sin \beta + \frac{q}{L} = 0$$
$$(6.2-3) \quad \sum F_Z = -P * \cos \beta + 2 * \frac{N}{2} * \cos \beta = 0$$

De (6.2-1) se obtiene:

$$F_1 = F_{1'} \quad (6.2-4)$$

De (6.2-3) se obtiene:

$$P = N \quad (6.2-5)$$

De (6.2-2) y (6.2-5) se obtiene:

$$q = 0 \quad (6.2-6)$$

Cálculo de  $F_{1'}$ :

$F_{1'}$  / equilibrio cuando  $\exists$  inclinación  $\Delta\alpha$  del dispositivo con respecto al eje vertical (ver [folio 2](#) del plano EIM-01-06-M-001.dwg)

$$(6.2-7) \quad \sum F_X = -F_{1'} + P * \sin(\Delta\alpha) + 2 * \frac{N}{2} * \sin(\Delta\alpha) = 0$$

De (6.2-7) y (6.2-5) se obtiene:

$$F_{1'} = P * \sin(\Delta\alpha) + 2 * \frac{P}{2} * \sin(\Delta\alpha) = 2 * P * \sin(\Delta\alpha) \quad (6.2-8)$$

Supongo:  $\Delta\alpha_{\max} = 30^\circ \rightarrow F_{1' \max} = P$

### 6.3 - ANÁLISIS ESTÁTICO DE COSTILLA INFERIOR

(Ver folio 3 del plano EIM-01-06-M-001.dwg en ANEXO C)

#### 6.3.1 - Cálculo De Fuerzas Lado Derecho

	<b>BARRA 1:</b>
<b>(6.3-1)</b> $\sum F_X = -F_{1X1} + F_{1X2} + F_{eq1} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_1) = 0$	<b>(6.3-2)</b> $\sum F_Y = F_{1Y1} + F_{1Y2} - F_{eq1} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_1) = 0$
<b>(6.3-3)</b> $\sum F_Z = F_{1Z1} + F_{1Z2} - F_{eq1} * \sin \beta = 0$	<b>(6.3-4)</b> $\sum M_{XO1} = F_{1Z2} * m_1 * \cos(\theta_1) - F_{eq1} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \cos(\theta_1) - M_{XO1} = 0$
<b>(6.3-5)</b> $\sum M_{YO1} = -F_{1Z2} * m_1 * \sin(\theta_1) + F_{eq1} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \sin(\theta_1) + M_{YO1} = 0$	<b>(6.3-6)</b> $F_{1Y1} = F_{1X1} * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)}$
<b>(6.3-7)</b> $F_{1Y2} = F_{1X2} * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)}$	

De (6.3-2), (6.3-6) y (6.3-7) se obtiene:

$$0 = F_{1Y1} + F_{1Y2} - F_{eq1} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_1) = F_{1X1} * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} + F_{1X2} * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} - F_{eq1} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_1) \quad (6.3-8)$$

De (6.3-1) se obtiene:

$$F_{1X1} = F_{1X2} + F_{eq1} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_1) \quad (6.3-9)$$

De (6.3-8) y (6.3-9) se obtiene:

$$0 = [F_{1X2} + F_{eq1} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_1)] * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} + F_{1X2} * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} - F_{eq1} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_1) = F_{1X2} * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} + F_{eq1} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_1) * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} + F_{1X2} * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} - F_{eq1} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_1) = 2 * F_{1X2} * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} + F_{eq1} * \cos(\beta) * [\sin(90^\circ - \theta_1) * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} - \cos(90^\circ - \theta_1)]$$

$$F_{1X2} = \frac{1}{2} * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} * F_{eq1} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_1) - \sin(90^\circ - \theta_1) * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)}] = \frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_1) * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} - \sin(90^\circ - \theta_1)] \quad (6.3-10)$$

De (6.3-9) y (6.3-10) se obtiene:

$$F_{1X1} = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_1) * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} - \sin(90^\circ - \theta_1)] \right\} + F_{eq1} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_1) = \frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_1) * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} + \sin(90^\circ - \theta_1)] \quad (6.3-11)$$

De (6.3-6) y (6.3-11) se obtiene:

$$F_{1Y1} = F_{1X1} * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_1) * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} + \sin(90^\circ - \theta_1)] \right\} * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} = \frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_1) + \sin(90^\circ - \theta_1) * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)}] \quad (6.3-12)$$

De (6.3-7) y (6.3-10) se obtiene:

$$F_{1Y2} = F_{1X2} * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_1) * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} - \sin(90^\circ - \theta_1) \right] \right\} * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} = \frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_1) - \sin(90^\circ - \theta_1) * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} \right] \quad (6.3-13)$$

De (6.3-3) y suponiendo que  $F_{1Z1} = F_{1Z2}$ , se obtiene:

$$F_{1Z1} = F_{1Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq1} * \sin \beta \quad (6.3-14)$$

De (6.3-4) y (6.3-14), se obtiene:

$$M_{XO1} = F_{1Z2} * m_1 * \cos(\theta_1) - F_{eq1} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \cos(\theta_1) = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq1} * \sin \beta \right\} * m_1 * \cos(\theta_1) - F_{eq1} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \cos(\theta_1) = 0 \quad (6.3-15)$$

De (6.3-5) y (6.3-14), se obtiene:

$$M_{YO1} = F_{1Z2} * m_1 * \sin(\theta_1) - F_{eq1} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \sin(\theta_1) = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq1} * \sin \beta \right\} * m_1 * \sin(\theta_1) - F_{eq1} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \sin(\theta_1) = 0 \quad (6.3-16)$$

	<b>BARRA 3:</b>
	$(6.3-17) \quad \sum F_X = -F_{3X1} + F_{3X2} + F_{eq2} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_2) = 0$
	$(6.3-18) \quad \sum F_Y = F_{3Y1} + F_{3Y2} - F_{eq2} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_2) = 0$
	$(6.3-19) \quad \sum F_Z = F_{3Z1} + F_{3Z2} - F_{eq2} * \sin \beta = 0$
	$(6.3-20) \quad \sum M_{XA1} = F_{3Z2} * m_2 * \cos(\theta_2) - F_{eq2} * \sin(\beta) * \frac{m_2}{2} * \cos(\theta_2) = 0$
	$(6.3-21) \quad F_{3Y1} = F_{3X1} * \frac{\cos(\theta_2)}{\sin(\theta_2)}$
	$(6.3-22) \quad F_{3Y2} = F_{3X2} * \frac{\cos(\theta_2)}{\sin(\theta_2)}$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 1, obteniéndose:

$$F_{3X2} = \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_2) * \frac{\sin(\theta_2)}{\cos(\theta_2)} - \sin(90^\circ - \theta_2) \right] \quad (6.3-23)$$

$$F_{3X1} = \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_2) * \frac{\sin(\theta_2)}{\cos(\theta_2)} + \sin(90^\circ - \theta_2) \right] \quad (6.3-24)$$

$$F_{3Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_2) + \sin(90^\circ - \theta_2) * \frac{\cos(\theta_2)}{\sin(\theta_2)} \right] \quad (6.3-25)$$

$$F_{3Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_2) - \sin(90^\circ - \theta_2) * \frac{\cos(\theta_2)}{\sin(\theta_2)} \right] \quad (6.3-26)$$

De (6.3-20) se obtiene:

$$F_{3Z2} = \left[ F_{eq2} * \sin(\beta) * \frac{m_2}{2} * \cos(\theta_2) \right] / [m_2 * \cos(\theta_2)] = \frac{1}{2} * F_{eq2} * \sin(\beta) \quad (6.3-27)$$

De (6.3-19) y (6.3-27) se obtiene:

$$F_{3Z1} = - \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq2} * \sin(\beta) \right\} + F_{eq2} * \sin \beta = \frac{1}{2} * F_{eq2} * \sin(\beta) \quad (6.3-28)$$

	<b>NODO A1:</b>
	$(6.3-29) \quad \sum F_X = F_{3X1} - F_{1X2} + F_2 * \sin \alpha_1 = 0$ $\sum F_Y = -F_{3Y1} - F_{1Y2} + F_2 * \cos \alpha_1 = 0$ $(6.3-30) \quad \sum F_Z = -F_{3Z1} - F_{1Z2} + F_{2Z2} = 0$

De (6.3-29), (6.3-24) y (6.3-10) se obtiene:

$$F_2 = \frac{-F_{3X1} + F_{1X2}}{\sin \alpha_1} = \frac{\left[ -\left\{ \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_2) * \frac{\sin(\theta_2)}{\cos(\theta_2)} + \sin(90^\circ - \theta_2) \right] \right\} + \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_1) * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} - \sin(90^\circ - \theta_1) \right] \right\} \right]}{\sin \alpha_1} = \frac{\frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_1) * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} - \sin(90^\circ - \theta_1) \right] - \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_2) * \frac{\sin(\theta_2)}{\cos(\theta_2)} + \sin(90^\circ - \theta_2) \right]}{\sin \alpha_1} \quad (6.3-31)$$

De (6.3-30), (6.3-28) y (6.3-14) se obtiene:

$$F_{2Z2} = F_{3Z1} + F_{1Z2} = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq2} * \sin(\beta) \right\} + \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq1} * \sin(\beta) \right\} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq2} + F_{eq1}] \quad (6.3-32)$$

	<b>BARRA 2:</b>
	$\sum F_X = F_2 * \sin \alpha_1 - F_{2Z1} = 0$ $\sum F_Y = F_2 * \cos \alpha_1 - F_{2Z2} = 0$ $(6.3-33) \quad \sum F_Z = F_{2Z1} - F_{2Z2} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> $(6.3-34) \quad \sum M_{XB1} = -F_{2Z2} * b_1 * \cos \alpha_1 + M_{XB1} = 0$ $(6.3-35) \quad \sum M_{YB1} = F_{2Z2} * b_1 * \sin \alpha_1 - M_{YB1} = 0$

De (6.3-33) y (6.3-32) se obtiene:

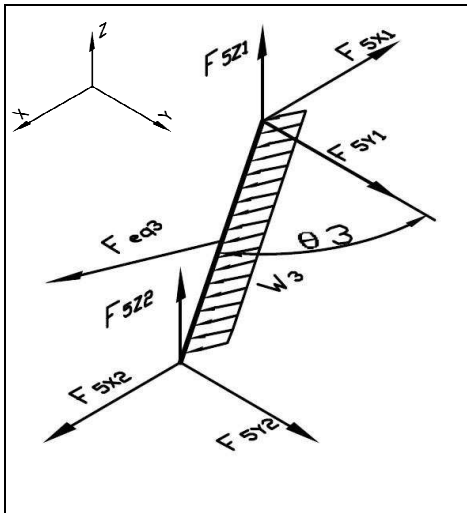
$$F_{2Z1} = F_{2Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq2} + F_{eq1}] \quad (6.3-36)$$

De (6.3-34) y (6.3-32) se obtiene:

$$M_{XB1} = F_{2Z2} * b_1 * \cos \alpha_1 = \left\{ \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq2} + F_{eq1}] \right\} * b_1 * \cos \alpha_1 = \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_1 * [F_{eq2} + F_{eq1}] \quad (6.3-37)$$

De (6.3-35) y (6.3-32) se obtiene:

$$M_{YB1} = F_{2Z2} * b_1 * \sin \alpha_1 = \left\{ \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq2} + F_{eq1}] \right\} * b_1 * \sin \alpha_1 = \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_1 * [F_{eq2} + F_{eq1}] \quad (6.3-38)$$



### BARRA 5:

$$(6.3-39) \quad \sum F_X = -F_{5X1} + F_{5X2} + F_{eq3} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_3) = 0$$

$$(6.3-40) \quad \sum F_Y = F_{5Y1} + F_{5Y2} - F_{eq3} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_3) = 0$$

$$(6.3-41) \quad \sum F_Z = F_{5Z1} + F_{5Z2} - F_{eq3} * \sin \beta = 0$$

$$(6.3-42) \quad \sum M_{XA2} = F_{5Z2} * m_3 * \cos(\theta_3) - F_{eq3} * \sin(\beta) * \frac{m_3}{2} * \cos(\theta_3) = 0$$

$$(6.3-43) \quad F_{5Y1} = F_{5X1} * \frac{\cos(\theta_3)}{\sin(\theta_3)}$$

$$(6.3-44) \quad F_{5Y2} = F_{5X2} * \frac{\cos(\theta_3)}{\sin(\theta_3)}$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 3, obteniéndose:

$$F_{5X2} = \frac{1}{2} * F_{eq3} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_3) * \frac{\sin(\theta_3)}{\cos(\theta_3)} - \sin(90^\circ - \theta_3) \right] \quad (6.3-45)$$

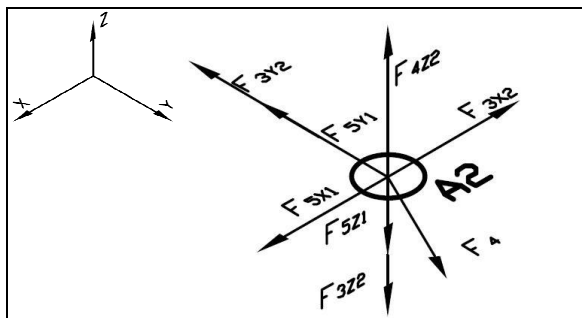
$$F_{5X1} = \frac{1}{2} * F_{eq3} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_3) * \frac{\sin(\theta_3)}{\cos(\theta_3)} + \sin(90^\circ - \theta_3) \right] \quad (6.3-46)$$

$$F_{5Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq3} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_3) + \sin(90^\circ - \theta_3) * \frac{\cos(\theta_3)}{\sin(\theta_3)} \right] \quad (6.3-47)$$

$$F_{5Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq3} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_3) - \sin(90^\circ - \theta_3) * \frac{\cos(\theta_3)}{\sin(\theta_3)} \right] \quad (6.3-48)$$

$$F_{5Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq3} * \sin(\beta) \quad (49)$$

$$F_{5Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq3} * \sin(\beta) \quad (50)$$



### NODO A2:

$$(6.3-51) \quad \sum F_X = F_{5X1} - F_{3X2} + F_4 * \sin \alpha_2 = 0$$

$$\sum F_Y = -F_{5Y1} - F_{3Y2} + F_4 * \cos \alpha_2 = 0$$

$$(6.3-52) \quad \sum F_Z = -F_{5Z1} - F_{3Z2} + F_{4Z2} = 0$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para NODO A1, obteniéndose:

$$F_4 = \frac{\frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_2) * \frac{\sin(\theta_2)}{\cos(\theta_2)} - \sin(90^\circ - \theta_2) \right] - \frac{1}{2} * F_{eq3} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_3) * \frac{\sin(\theta_3)}{\cos(\theta_3)} + \sin(90^\circ - \theta_3) \right]}{\sin \alpha_2} \quad (6.3-53)$$

$$F_{4Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq3} + F_{eq2}] \quad (6.3-54)$$

**BARRA 4:**

$$\sum F_X = F_4 * \sin \alpha_2 - F_4 * \sin \alpha_2 = 0$$

$$\sum F_Y = F_4 * \cos \alpha_2 - F_4 * \cos \alpha_2 = 0$$

$$(6.3-55) \quad \sum F_Z = F_{4Z1} - F_{4Z2} = 0$$

$$(6.3-56) \quad \sum M_{XB2} = -F_{4Z2} * b_2 * \cos \alpha_2 + M_{XB2} = 0$$

$$(6.3-57) \quad \sum M_{YB2} = F_{4Z2} * b_2 * \sin \alpha_2 - M_{YB2} = 0$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 2, obteniéndose:

$$F_{4Z1} = F_{4Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq3} + F_{eq2}] \quad (6.3-58)$$

$$M_{XB2} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_2 * [F_{eq3} + F_{eq2}] \quad (6.3-59)$$

$$M_{YB2} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_2 * [F_{eq3} + F_{eq2}] \quad (6.3-60)$$

**BARRA 7:**

$$(6.3-61) \quad \sum F_X = -F_{7X1} + F_{7X2} + F_{eq4} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_4) = 0$$

$$(6.3-62) \quad \sum F_Y = F_{7Y1} + F_{7Y2} - F_{eq4} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_4) = 0$$

$$(6.3-63) \quad \sum F_Z = F_{7Z1} + F_{7Z2} - F_{eq4} * \sin \beta = 0$$


---


$$(6.3-64) \quad \sum M_{XA3} = F_{7Z2} * m_4 * \cos(\theta_4) - F_{eq4} * \sin(\beta) * \frac{m_4}{2} * \cos(\theta_4) = 0$$


---


$$(6.3-65) \quad F_{7Y1} = F_{7X1} * \frac{\cos(\theta_4)}{\sin(\theta_4)}$$

$$(6.3-66) \quad F_{7Y2} = F_{7X2} * \frac{\cos(\theta_4)}{\sin(\theta_4)}$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 3, obteniéndose:

$$F_{7X2} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_4) * \frac{\sin(\theta_4)}{\cos(\theta_4)} - \sin(90^\circ - \theta_4) \right] \quad (6.3-67)$$

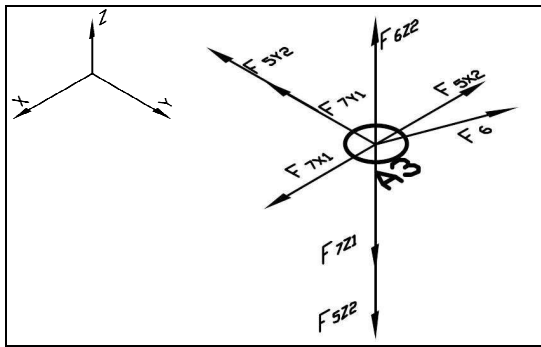
$$F_{7X1} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_4) * \frac{\sin(\theta_4)}{\cos(\theta_4)} + \sin(90^\circ - \theta_4) \right] \quad (6.3-68)$$

$$F_{7Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_4) + \sin(90^\circ - \theta_4) * \frac{\cos(\theta_4)}{\sin(\theta_4)} \right] \quad (6.3-69)$$

$$F_{7Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_4) - \sin(90^\circ - \theta_4) * \frac{\cos(\theta_4)}{\sin(\theta_4)} \right] \quad (6.3-70)$$

$$F_{7Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \sin(\beta) \quad (6.3-71)$$

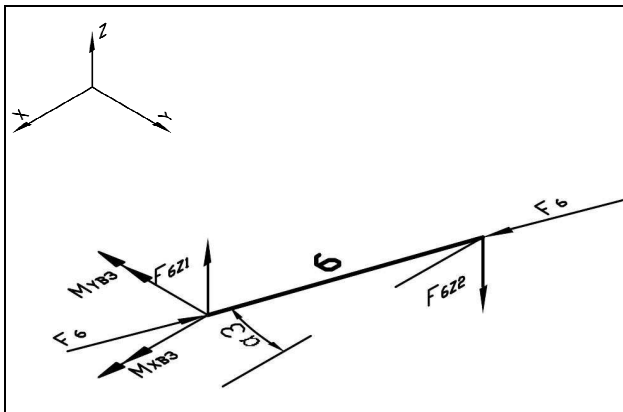
$$F_{7Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \sin(\beta) \quad (6.3-72)$$

	<b>NODO A3:</b>
	$(6.3-73) \quad \sum F_X = F_{7X1} - F_{5X2} - F_6 \cdot \cos \alpha_3 = 0$ $\sum F_Y = -F_{7Y1} - F_{5Y2} + F_6 \cdot \sin \alpha_3 = 0$ $(6.3-74) \quad \sum F_Z = -F_{7Z1} - F_{5Z2} + F_{6Z2} = 0$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para NODO A1, obteniéndose:

$$F_6 = \frac{[+F_{7X1} - F_{5X2}]}{\cos \alpha_3} = \frac{+\frac{1}{2} * F_{eq4} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_4) * \frac{\sin(\theta_4)}{\cos(\theta_4)} + \sin(90^\circ - \theta_4)] - \frac{1}{2} * F_{eq3} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_3) * \frac{\sin(\theta_3)}{\cos(\theta_3)} - \sin(90^\circ - \theta_3)]}{\cos \alpha_3} \quad (6.3-75)$$

$$F_{6Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq4} + F_{eq3}] \quad (6.3-76)$$

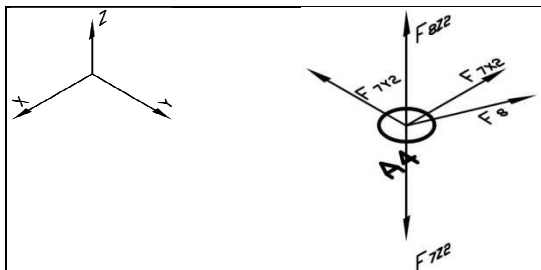
	<b>BARRA 6:</b>
	$\sum F_X = F_6 \cdot \cos \alpha_3 - F_6 \cdot \cos \alpha_3 = 0$ $\sum F_Y = F_6 \cdot \sin \alpha_3 - F_6 \cdot \sin \alpha_3 = 0$ $(6.3-77) \quad \sum F_Z = F_{6Z1} - F_{6Z2} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> $(6.3-78) \quad \sum M_{XB3} = -F_{6Z2} * b_3 * \sin \alpha_3 + M_{XB3} = 0$ $(6.3-79) \quad \sum M_{YB3} = -F_{6Z2} * b_3 * \cos \alpha_3 - M_{YB3} = 0$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 2, obteniéndose:

$$F_{6Z1} = F_{6Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq4} + F_{eq3}] \quad (6.3-80)$$

$$M_{XB3} = \frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_3 * [F_{eq4} + F_{eq3}] \quad (6.3-81)$$

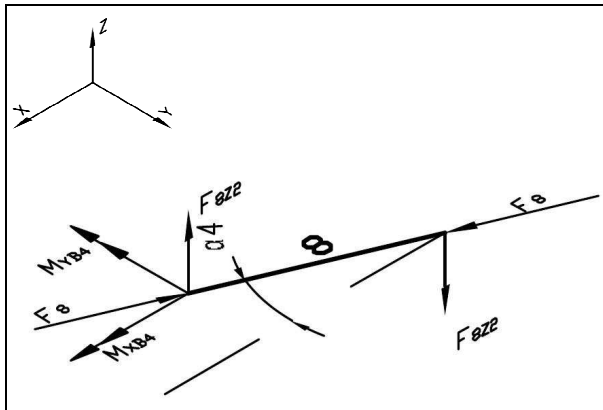
$$M_{YB3} = -\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_3 * [F_{eq4} + F_{eq3}] \quad (6.3-82)$$

	<b>NODO A4:</b>
	$(6.3-83) \quad \sum F_X = -F_{7X2} - F_8 \cdot \cos \alpha_4 = 0$ $\sum F_Y = -F_{7Y2} + F_8 \cdot \sin \alpha_4 = 0$ $(6.3-84) \quad \sum F_Z = -F_{7Z2} + F_{8Z2} = 0$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para NODO A1, obteniéndose:

$$F_8 = \frac{[-F_{7X2}]}{\cos \alpha_4} = \frac{-\frac{1}{2} * F_{eq4} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_4) * \frac{\sin(\theta_4)}{\cos(\theta_4)} - \sin(90^\circ - \theta_4)]}{\cos \alpha_4} \quad (6.3-85)$$

$$F_{8Z2} = F_{7Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \sin(\beta) \quad (6.3-86)$$



### BARRA 8:

$$\sum F_X = F_8 * \cos \alpha_4 - F_8 * \cos \alpha_4 = 0$$

$$\sum F_Y = F_8 * \sin \alpha_4 - F_8 * \sin \alpha_4 = 0$$

$$(6.3-87) \quad \sum F_Z = F_{8Z1} - F_{8Z2} = 0$$

$$(6.3-88) \quad \sum M_{XB4} = -F_{8Z2} * b_4 * \sin \alpha_4 + M_{XB4} = 0$$

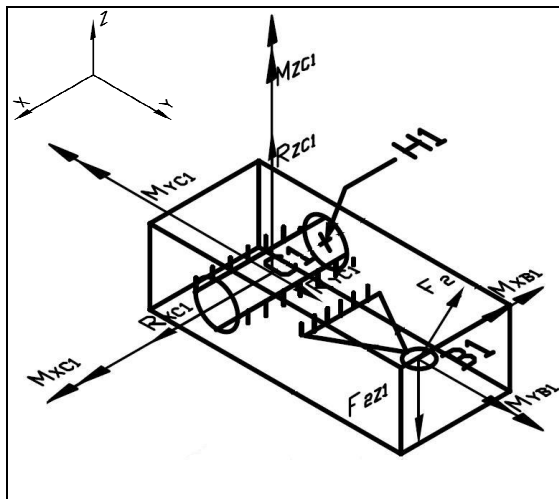
$$(6.3-89) \quad \sum M_{YB4} = -F_{8Z2} * b_4 * \cos \alpha_4 - M_{YB4} = 0$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 2, obteniéndose:

$$F_{8Z1} = F_{8Z2} = F_{7Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \sin(\beta) \quad (6.3-90)$$

$$M_{XB4} = \frac{b_4}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_4 * F_{eq4} \quad (6.3-91)$$

$$M_{YB4} = -\frac{b_4}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_4 * F_{eq4} \quad (6.3-92)$$



### PIEZA B1-C1:

$$(6.3-93) \quad \sum F_X = R_{XC1} - F_2 * \sin \alpha_1 = 0$$

$$(6.3-94) \quad \sum F_Y = R_{YC1} - F_2 * \cos \alpha_1 = 0$$

$$(6.3-95) \quad \sum F_Z = R_{ZC1} - F_{2Z1} = 0$$

$$(6.3-96) \quad \sum M_{XC1} = -F_{2Z1} * d_2 + M_{XC1} - M_{XB1} = 0$$

$$(6.3-97) \quad \sum M_{YC1} = M_{YB1} - M_{YC1} = 0$$

$$(6.3-98) \quad \sum M_{ZC1} = F_2 * \sin \alpha_1 * d_2 + M_{ZC1} = 0$$

De (6.3-93) y (6.3-31) se obtiene:

$$R_{XC1} = F_2 * \sin \alpha_1 = \left\{ \frac{\frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_1) * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} - \sin(90^\circ - \theta_1)] - \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_2) * \frac{\sin(\theta_2)}{\cos(\theta_2)} + \sin(90^\circ - \theta_2)]}{\sin \alpha_1} \right\} * \sin \alpha_1 = \frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_1) * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} - \sin(90^\circ - \theta_1) \right] - \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_2) * \frac{\sin(\theta_2)}{\cos(\theta_2)} + \sin(90^\circ - \theta_2) \right] \quad (6.3-99)$$

De (6.3-94) y (6.3-31) se obtiene:

$$R_{YC1} = F_2 * \cos \alpha_1 = \left\{ \frac{\frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_1) * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} - \sin(90^\circ - \theta_1)] - \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_2) * \frac{\sin(\theta_2)}{\cos(\theta_2)} + \sin(90^\circ - \theta_2)]}{\sin \alpha_1} \right\} * \cos \alpha_1 = \tan^{-1}(\alpha_1) * \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_1) * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} - \sin(90^\circ - \theta_1) \right] - \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_2) * \frac{\sin(\theta_2)}{\cos(\theta_2)} + \sin(90^\circ - \theta_2) \right] \right\} \quad (6.3-100)$$

De (6.3-95) y (6.3-36) se obtiene:

$$R_{ZC1} = F_{2Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq2} + F_{eq1}] \quad (6.3-101)$$

De (6.3-96), (6.3-36) y (6.3-37) se obtiene:

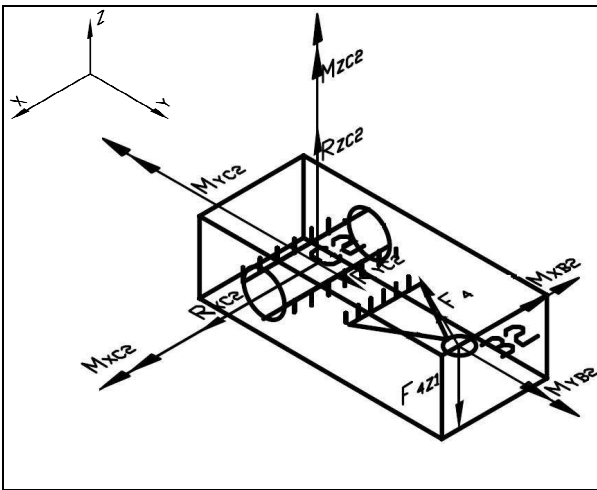
$$M_{XC1} = F_{2Z1} * d_2 + M_{XB1} = \left\{ \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq2} + F_{eq1}] \right\} * d_2 + \left\{ \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_1 * [F_{eq2} + F_{eq1}] \right\} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq2} + F_{eq1}] * [d_2 + b_1 * \cos \alpha_1] \quad (6.3-102)$$

De (6.3-97) y (6.3-38) se obtiene:

$$M_{YC1} = M_{YB1} = \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_1 * [F_{eq2} + F_{eq1}] \quad (6.3-103)$$

De (6.3-98) y (6.3-31) se obtiene:

$$M_{ZC1} = -F_2 * \sin \alpha_1 * d_2 = - \left\{ \frac{\frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_1) * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} - \sin(90^\circ - \theta_1)] - \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_2) * \frac{\sin(\theta_2)}{\cos(\theta_2)} + \sin(90^\circ - \theta_2)]}{\sin \alpha_1} \right\} * \sin \alpha_1 * d_2 = -d_2 * \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_1) * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} - \sin(90^\circ - \theta_1)] - \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_2) * \frac{\sin(\theta_2)}{\cos(\theta_2)} + \sin(90^\circ - \theta_2)] \right\} \quad (6.3-104)$$



**PIEZA B2-C2:**

$$(6.3-105) \quad \sum F_X = R_{XC2} - F_4 * \sin \alpha_2 = 0$$

$$(6.3-106) \quad \sum F_Y = R_{YC2} - F_4 * \cos \alpha_2 = 0$$

$$(6.3-107) \quad \sum F_Z = R_{ZC2} - F_{4Z1} = 0$$

$$(6.3-108) \quad \sum M_{XC2} = -F_{4Z1} * d_2 + M_{XC2} - M_{XB2} = 0$$

$$(6.3-109) \quad \sum M_{YC2} = M_{YB2} - M_{YC2} = 0$$

$$(6.3-110) \quad \sum M_{ZC2} = F_4 * \sin \alpha_2 * d_2 + M_{ZC2} = 0$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para PIEZA B1-C1, obteniéndose:

$$R_{XC2} = F_4 * \sin \alpha_2 \quad (6.3-111)$$

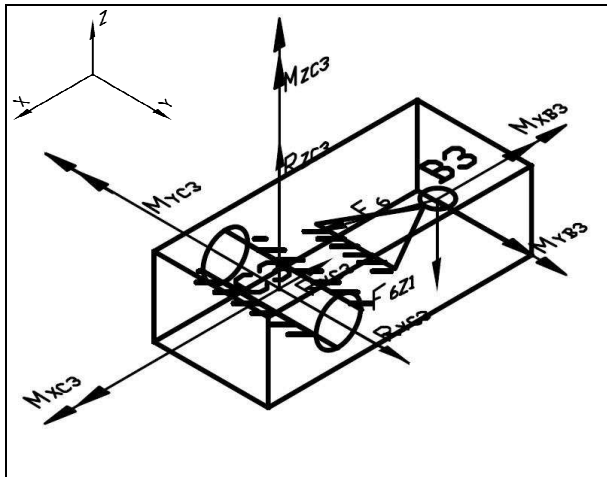
$$R_{YC2} = F_4 * \cos \alpha_2 \quad (6.3-112)$$

$$R_{ZC2} = F_{4Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq3} + F_{eq2}] \quad (6.3-113)$$

$$M_{XC2} = F_{4Z1} * d_2 + M_{XB2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq3} + F_{eq2}] * [d_2 + b_2 * \cos \alpha_2] \quad (6.3-114)$$

$$M_{YC2} = M_{YB2} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_2 * [F_{eq3} + F_{eq2}] \quad (6.3-115)$$

$$M_{ZC2} = -F_4 * \sin \alpha_2 * d_2 \quad (6.3-116)$$



#### PIEZA B3-C3:

$$(6.3-117) \quad \sum F_X = -R_{XC3} + F_6 * \cos \alpha_3 = 0$$

$$(6.3-118) \quad \sum F_Y = R_{YC3} - F_6 * \sin \alpha_3 = 0$$

$$(6.3-119) \quad \sum F_Z = R_{ZC3} - F_{6Z1} = 0$$

$$(6.3-120) \quad \sum M_{XC3} = M_{XC3} - M_{XB3} = 0$$

$$(6.3-121) \quad \sum M_{YC3} = -F_{6Z1} * d_2 + M_{YB3} - M_{YC3} = 0$$

$$(6.3-122) \quad \sum M_{ZC3} = F_6 * \sin \alpha_3 * d_2 + M_{ZC3} = 0$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para PIEZA B1-C1, obteniéndose:

$$R_{XC3} = F_6 * \cos \alpha_3 \quad (6.3-123)$$

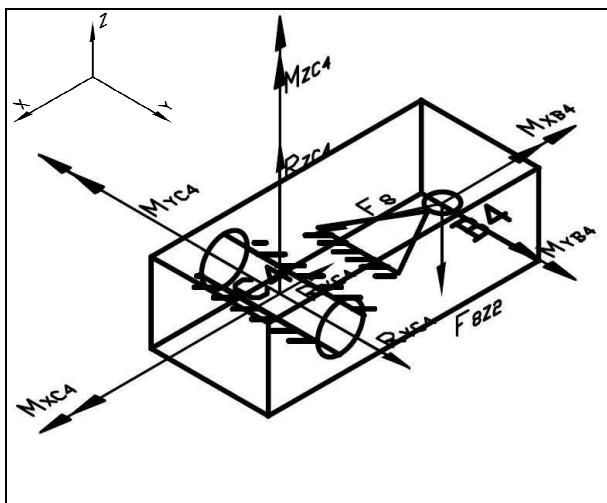
$$R_{YC3} = F_6 * \sin \alpha_3 \quad (6.3-124)$$

$$R_{ZC3} = F_{6Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq4} + F_{eq3}] \quad (6.3-125)$$

$$M_{XC3} = M_{XB3} \quad (6.3-126)$$

$$M_{YC3} = -F_{6Z1} * d_2 + M_{YB3} \quad (6.3-127)$$

$$M_{ZC3} = -F_6 * \sin \alpha_3 * d_2 \quad (6.3-128)$$



#### PIEZA B4-C4:

$$(6.3-129) \quad \sum F_X = -R_{XC4} + F_8 * \cos \alpha_4 = 0$$

$$(6.3-130) \quad \sum F_Y = R_{YC4} - F_8 * \sin \alpha_4 = 0$$

$$(6.3-131) \quad \sum F_Z = R_{ZC4} - F_{8Z1} = 0$$

$$(6.3-132) \quad \sum M_{XC4} = M_{XC4} - M_{XB4} = 0$$

$$(6.3-133) \quad \sum M_{YC4} = -F_{8Z1} * d_2 + M_{YB4} - M_{YC4} = 0$$

$$(6.3-134) \quad \sum M_{ZC4} = F_8 * \sin \alpha_4 * d_2 + M_{ZC4} = 0$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para PIEZA B3-C3, obteniéndose:

$$R_{XC4} = F_8 * \cos \alpha_4 \quad (6.3-135)$$

$$R_{YC4} = F_8 * \sin \alpha_4 \quad (6.3-136)$$

$$R_{ZC4} = F_{8Z1} \quad (6.3-137)$$

$$M_{XC4} = M_{XB4} \quad (6.3-138)$$

$$M_{YC4} = -F_{8Z1} * d_2 + M_{YB4} \quad (6.3-139)$$

$$M_{ZC4} = -F_8 * \sin \alpha_4 * d_2 \quad (6.3-140)$$

### 6.3.2 - Cálculo De Fuerzas Lado Izquierdo

Procediendo de manera análoga al cálculo de fuerzas del lado derecho de la costilla se obtiene:

	<p><b>BARRA 1':</b></p> $\sum F_X = -F_{1X1'} + F_{1X2'} - F_{eq1'} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{1'}) = 0$ $\sum F_Y = F_{1Y1'} + F_{1Y2'} - F_{eq1'} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{1'}) = 0$ $\sum F_Z = F_{1Z1'} + F_{1Z2'} - F_{eq1'} * \sin \beta = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> $\sum M_{XO1'} = F_{1Z2'} * m_1 * \cos(\theta_{1'}) - F_{eq1'} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \cos(\theta_{1'}) + M_{XO1'} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> $\sum M_{YO1'} = +F_{1Z2'} * m_1 * \sin(\theta_{1'}) - F_{eq1'} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \sin(\theta_{1'}) + M_{YO1'} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> $F_{1Y1'} = F_{1X1'} * \frac{\cos(\theta_{1'})}{\sin(\theta_{1'})}$ $F_{1Y2'} = F_{1X2'} * \frac{\cos(\theta_{1'})}{\sin(\theta_{1'})}$
--	--

$$F_{1X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq1'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{1'}) * \frac{\sin(\theta_{1'})}{\cos(\theta_{1'})} + \sin(90^\circ - \theta_{1'}) \right] \quad (6.3-141)$$

$$F_{1X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq1'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{1'}) * \frac{\sin(\theta_{1'})}{\cos(\theta_{1'})} - \sin(90^\circ - \theta_{1'}) \right] \quad (6.3-142)$$

$$F_{1Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq1'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{1'}) - \sin(90^\circ - \theta_{1'}) * \frac{\cos(\theta_{1'})}{\sin(\theta_{1'})} \right] \quad (6.3-143)$$

$$F_{1Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq1'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{1'}) + \sin(90^\circ - \theta_{1'}) * \frac{\cos(\theta_{1'})}{\sin(\theta_{1'})} \right] \quad (6.3-144)$$

$$F_{1Z1'} = F_{1Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq1'} * \sin \beta \quad (6.3-145)$$

$$M_{XO1'} = - \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq1'} * \sin \beta \right\} * m_1 * \cos(\theta_{1'}) + F_{eq1'} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \cos(\theta_{1'}) = 0 \quad (6.3-146)$$

$$M_{YO1'} = - \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq1'} * \sin \beta \right\} * m_1 * \sin(\theta_{1'}) + F_{eq1'} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \sin(\theta_{1'}) = 0 \quad (6.3-147)$$

	<p><b>BARRA 3':</b></p> $\sum F_X = -F_{3X1'} + F_{3X2'} - F_{eq2'} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{2'}) = 0$ $\sum F_Y = F_{3Y1'} + F_{3Y2'} - F_{eq2'} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{2'}) = 0$ $\sum F_Z = F_{3Z1'} + F_{3Z2'} - F_{eq2'} * \sin \beta = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> $\sum M_{XA1'} = F_{3Z2'} * m_2 * \cos(\theta_{2'}) - F_{eq2'} * \sin(\beta) * \frac{m_2}{2} * \cos(\theta_{2'}) = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> $F_{3Y1'} = F_{3X1'} * \frac{\cos(\theta_{2'})}{\sin(\theta_{2'})}$ $F_{3Y2'} = F_{3X2'} * \frac{\cos(\theta_{2'})}{\sin(\theta_{2'})}$
--	---

$$F_{3X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq2'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{2'}) * \frac{\sin(\theta_{2'})}{\cos(\theta_{2'})} + \sin(90^\circ - \theta_{2'}) \right] \quad (6.3-148)$$

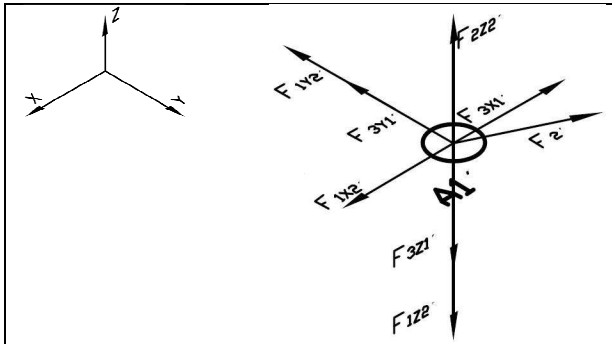
$$F_{3X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq2'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{2'}) * \frac{\sin(\theta_{2'})}{\cos(\theta_{2'})} - \sin(90^\circ - \theta_{2'}) \right] \quad (6.3-149)$$

$$F_{3Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq2'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{2'}) - \sin(90^\circ - \theta_{2'}) * \frac{\cos(\theta_{2'})}{\sin(\theta_{2'})} \right] \quad (6.3-150)$$

$$F_{3Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq2'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{2'}) + \sin(90^\circ - \theta_{2'}) * \frac{\cos(\theta_{2'})}{\sin(\theta_{2'})} \right] \quad (6.3-151)$$

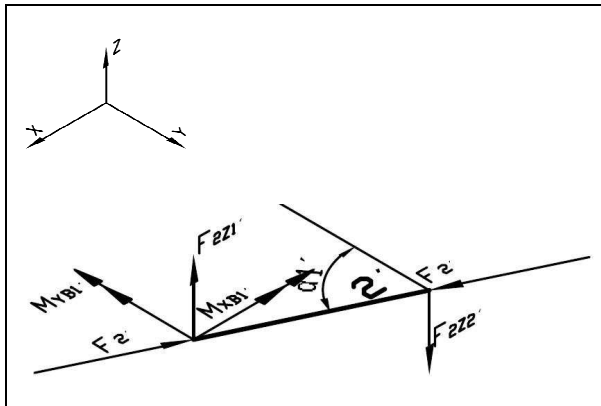
$$F_{3Z2'} = \left[ F_{eq2'} * \sin(\beta) * \frac{m_2}{2} * \cos(\theta_{2'}) \right] / [m_2 * \cos(\theta_{2'})] = \frac{1}{2} * F_{eq2'} * \sin(\beta) \quad (6.3-152)$$

$$F_{3Z1'} = - \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq2'} * \sin(\beta) \right\} + F_{eq2'} * \sin \beta = \frac{1}{2} * F_{eq2'} * \sin(\beta) \quad (6.3-153)$$

	<b>NODO A1':</b>
	$\sum F_X = -F_{3X1'} + F_{1X2'} - F_2' * \sin \alpha_{1'} = 0$ $\sum F_Y = -F_{3Y1'} - F_{1Y2'} + F_2' * \cos \alpha_{1'} = 0$ $\sum F_Z = -F_{3Z1'} - F_{1Z2'} + F_{2Z2'} = 0$

$$F_2' = \frac{-F_{3X1'} + F_{1X2'}}{\sin \alpha_{1'}} \quad (6.3-154)$$

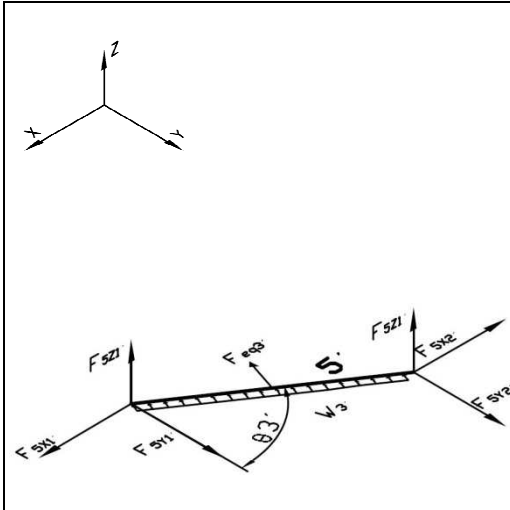
$$F_{2Z2'} = F_{3Z1'} + F_{1Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq2'} + F_{eq1'}] \quad (6.3-155)$$

	<b>BARRA 2':</b>
	$\sum F_X = F_2' * \sin \alpha_{1'} - F_2' * \sin \alpha_{1'} = 0$ $\sum F_Y = F_2' * \cos \alpha_{1'} - F_2' * \cos \alpha_{1'} = 0$ $\sum F_Z = F_{2Z1'} - F_{2Z2'} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> $\sum M_{XB1} = -F_{2Z2'} * b_1 * \cos \alpha_{1'} - M_{XB1'} = 0$ $\sum M_{YB1} = -F_{2Z2'} * b_1 * \sin \alpha_{1'} - M_{YB1'} = 0$

$$F_{2Z1'} = F_{2Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq2'} + F_{eq1'}] \quad (6.3-156)$$

$$M_{XB1'} = -F_{2Z2'} * b_1 * \cos \alpha_{1'} \quad (6.3-157)$$

$$M_{YB1'} = -F_{2Z2'} * b_1 * \sin \alpha_{1'} \quad (6.3-158)$$



### BARRA 5':

$$\sum F_X = +F_{5X1'} - F_{5X2'} - F_{eq3'} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{3'}) = 0$$

$$\sum F_Y = F_{5Y1'} + F_{5Y2'} - F_{eq3'} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{3'}) = 0$$

$$\sum F_Z = F_{5Z1'} + F_{5Z2'} - F_{eq3'} * \sin \beta = 0$$

$$\sum M_{XA2'} = F_{5Z2'} * m_3 * \cos(\theta_{3'}) - F_{eq3'} * \sin(\beta) * \frac{m_3}{2} * \cos(\theta_{3'}) = 0$$

$$F_{5Y1'} = F_{5X1'} * \frac{\cos(\theta_{3'})}{\sin(\theta_{3'})}$$

$$F_{5Y2'} = F_{5X2'} * \frac{\cos(\theta_{3'})}{\sin(\theta_{3'})}$$

$$F_{5X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq3'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{3'}) * \frac{\sin(\theta_{3'})}{\cos(\theta_{3'})} + \sin(90^\circ - \theta_{3'}) \right] \quad (6.3-159)$$

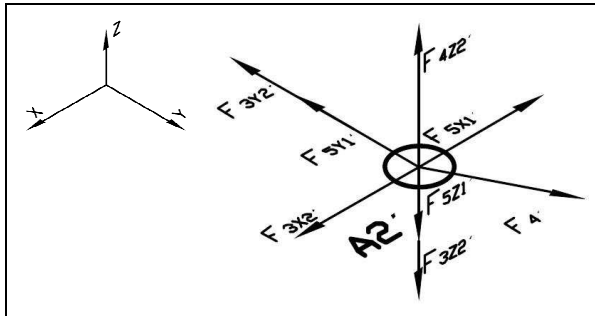
$$F_{5X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq3'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{3'}) * \frac{\sin(\theta_{3'})}{\cos(\theta_{3'})} - \sin(90^\circ - \theta_{3'}) \right] \quad (6.3-160)$$

$$F_{5Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq3'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{3'}) - \sin(90^\circ - \theta_{3'}) * \frac{\cos(\theta_{3'})}{\sin(\theta_{3'})} \right] \quad (6.3-161)$$

$$F_{5Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq3'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{3'}) + \sin(90^\circ - \theta_{3'}) * \frac{\cos(\theta_{3'})}{\sin(\theta_{3'})} \right] \quad (6.3-162)$$

$$F_{5Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq3'} * \sin(\beta) \quad (6.3-163)$$

$$F_{5Z1'} = \frac{1}{2} * F_{eq3'} * \sin(\beta) \quad (6.3-164)$$



### NODO A2':

$$\sum F_X = -F_{5X1'} + F_{3X2'} - F_4' * \sin \alpha_{2'} = 0$$

$$\sum F_Y = -F_{5Y1'} - F_{3Y2'} + F_4' * \cos \alpha_{2'} = 0$$

$$\sum F_Z = -F_{5Z1'} - F_{3Z2'} + F_{4Z2'} = 0$$

$$F_4' = \frac{-F_{5X1'} + F_{3X2'}}{\sin \alpha_{2'}} \quad (6.3-165)$$

$$F_{4Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq3'} + F_{eq2'}] \quad (6.3-166)$$

**BARRA 4':**

$$\sum F_X = F_4 \cdot \sin \alpha_{2'} - F_4 \cdot \sin \alpha_{2'} = 0$$

$$\sum F_Y = F_4 \cdot \cos \alpha_{2'} - F_4 \cdot \cos \alpha_{2'} = 0$$

$$\sum F_Z = F_{4Z1'} - F_{4Z2'} = 0$$

$$\sum M_{XB2'} = -F_{4Z2'} \cdot b_2 \cdot \cos \alpha_{2'} - M_{XB2'} = 0$$

$$\sum M_{YB2'} = -F_{4Z2'} \cdot b_2 \cdot \sin \alpha_{2'} - M_{YB2'} = 0$$

$$F_{4Z1'} = F_{4Z2'} = \frac{1}{2} \cdot \sin(\beta) \cdot [F_{eq3'} + F_{eq2'}] \quad (6.3-167)$$

$$M_{XB2'} = -\frac{b_2}{2} \cdot \sin(\beta) \cdot \cos \alpha_{2'} \cdot [F_{eq3'} + F_{eq2'}] \quad (6.3-168)$$

$$M_{YB2'} = -\frac{b_2}{2} \cdot \sin(\beta) \cdot \sin \alpha_{2'} \cdot [F_{eq3'} + F_{eq2'}] \quad (6.3-169)$$

**BARRA 7':**

$$\sum F_X = +F_{7X1'} - F_{7X2'} - F_{eq4'} \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(90^\circ - \theta_{4'}) = 0$$

$$\sum F_Y = F_{7Y1'} + F_{7Y2'} - F_{eq4'} \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(90^\circ - \theta_{4'}) = 0$$

$$\sum F_Z = F_{7Z1'} + F_{7Z2'} - F_{eq4'} \cdot \sin \beta = 0$$


---


$$\sum M_{XA3'} = F_{7Z2'} \cdot m_4 \cdot \cos(\theta_{4'}) - F_{eq4'} \cdot \sin(\beta) \cdot \frac{m_4}{2} \cdot \cos(\theta_{4'}) = 0$$


---


$$F_{7Y1'} = F_{7X1'} \cdot \frac{\cos(\theta_{4'})}{\sin(\theta_{4'})}$$

$$F_{7Y2'} = F_{7X2'} \cdot \frac{\cos(\theta_{4'})}{\sin(\theta_{4'})}$$

$$F_{7X2'} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq4'} \cdot \cos(\beta) \cdot \left[ \cos(90^\circ - \theta_{4'}) \cdot \frac{\sin(\theta_{4'})}{\cos(\theta_{4'})} + \sin(90^\circ - \theta_{4'}) \right] \quad (6.3-170)$$

$$F_{7X1'} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq4'} \cdot \cos(\beta) \cdot \left[ \cos(90^\circ - \theta_{4'}) \cdot \frac{\sin(\theta_{4'})}{\cos(\theta_{4'})} - \sin(90^\circ - \theta_{4'}) \right] \quad (6.3-171)$$

$$F_{7Y1'} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq4'} \cdot \cos(\beta) \cdot \left[ \cos(90^\circ - \theta_{4'}) - \sin(90^\circ - \theta_{4'}) \cdot \frac{\sin(\theta_{4'})}{\cos(\theta_{4'})} \right] \quad (6.3-172)$$

$$F_{7Y2'} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq4'} \cdot \cos(\beta) \cdot \left[ \cos(90^\circ - \theta_{4'}) + \sin(90^\circ - \theta_{4'}) \cdot \frac{\sin(\theta_{4'})}{\cos(\theta_{4'})} \right] \quad (6.3-173)$$

$$F_{7Z2'} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq4'} \cdot \sin(\beta) \quad (6.3-174)$$

$$F_{7Z1'} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq4'} \cdot \sin(\beta) \quad (6.3-175)$$

	<b>NODO A3' :</b>
	$\sum F_X = -F_{7X1'} + F_{5X2'} + F_6 \cdot \cos \alpha_3 = 0$ $\sum F_Y = -F_{7Y1'} - F_{5Y2'} + F_6 \cdot \sin \alpha_3 = 0$ $\sum F_Z = -F_{7Z1'} - F_{5Z2'} + F_{6Z2'} = 0$

$$F_6 = \frac{[+F_{7X1'} - F_{5X2'}]}{\cos \alpha_3} \quad (6.3-176)$$

$$F_{6Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq4'} + F_{eq3'}] \quad (6.3-177)$$

	<b>BARRA 6' :</b>
	$\sum F_X = F_6 \cdot \cos \alpha_3 - F_6 \cdot \cos \alpha_3 = 0$ $\sum F_Y = F_6 \cdot \sin \alpha_3 - F_6 \cdot \sin \alpha_3 = 0$ $\sum F_Z = F_{6Z1'} - F_{6Z2'} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> $\sum M_{XB3'} = -F_{6Z2'} * b_3 * \sin \alpha_3 - M_{XB3'} = 0$ $\sum M_{YB3'} = +F_{6Z2'} * b_3 * \cos \alpha_3 - M_{YB3'} = 0$

$$F_{6Z1'} = F_{6Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq4'} + F_{eq3'}] \quad (6.3-178)$$

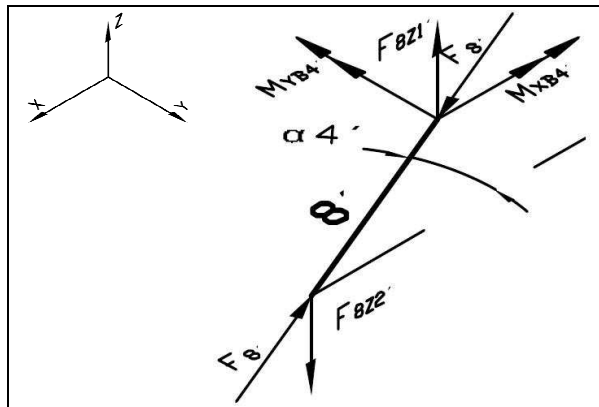
$$M_{XB3'} = -\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_3 * [F_{eq4'} + F_{eq3'}] \quad (6.3-179)$$

$$M_{YB3'} = +\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_3 * [F_{eq4'} + F_{eq3'}] \quad (6.3-180)$$

	<b>NODO A4' :</b>
	$\sum F_X = +F_{7X2'} + F_8 \cdot \cos \alpha_4 = 0$ $\sum F_Y = -F_{7Y2'} + F_8 \cdot \sin \alpha_4 = 0$ $\sum F_Z = -F_{7Z2'} + F_{8Z2'} = 0$

$$F_8 = \frac{[-F_{7X2'}]}{\cos \alpha_4} \quad (6.3-181)$$

$$F_{8Z2'} = F_{7Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq4'} * \sin(\beta) \quad (6.3-182)$$



#### BARRA 8':

$$\sum F_X = F_{8'} * \cos \alpha_{4'} - F_{8'} * \cos \alpha_{4'} = 0$$

$$\sum F_Y = F_{8'} * \sin \alpha_{4'} - F_{8'} * \sin \alpha_{4'} = 0$$

$$\sum F_Z = F_{8Z1'} - F_{8Z2'} = 0$$

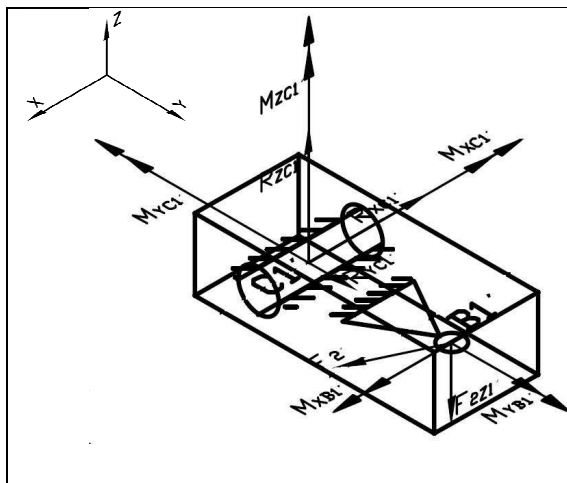
$$\sum M_{XB4'} = -F_{8Z2'} * b_4 * \sin \alpha_{4'} - M_{XB4'} = 0$$

$$\sum M_{YB4'} = +F_{8Z2'} * b_4 * \cos \alpha_{4'} - M_{YB4'} = 0$$

$$F_{8Z1'} = F_{8Z2'} = F_{7Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq4'} * \sin(\beta) \quad (6.3-183)$$

$$M_{XB4'} = -\frac{b_4}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{4'} * F_{eq4'} \quad (6.3-184)$$

$$M_{YB4'} = +\frac{b_4}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{4'} * F_{eq4'} \quad (6.3-185)$$



#### PIEZA B1'-C1':

$$\sum F_X = -R_{XC1'} + F_2 * \sin \alpha_{1'} = 0$$

$$\sum F_Y = R_{YC1'} - F_2 * \cos \alpha_{1'} = 0$$

$$\sum F_Z = R_{ZC1'} - F_{2Z1'} = 0$$

$$\sum M_{XC1'} = -F_{2Z1'} * d_2 - M_{XC1'} + M_{XB1'} = 0$$

$$\sum M_{YC1'} = M_{YB1'} - M_{YC1'} = 0$$

$$\sum M_{ZC1'} = -F_2 * \sin \alpha_{1'} * d_2 + M_{ZC1'} = 0$$

$$R_{XC1'} = F_2 * \sin \alpha_{1'} \quad (6.3-186)$$

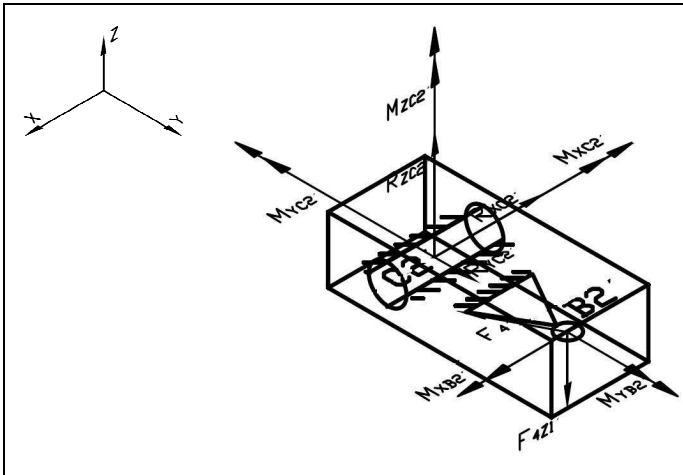
$$R_{YC1'} = F_2 * \cos \alpha_{1'} \quad (6.3-187)$$

$$R_{ZC1'} = F_{2Z1'} \quad (6.3-188)$$

$$M_{XC1'} = -F_{2Z1'} * d_2 + M_{XB1'} \quad (6.3-189)$$

$$M_{YC1'} = M_{YB1'} \quad (6.3-190)$$

$$M_{ZC1'} = +F_2 * \sin \alpha_{1'} * d_2 \quad (6.3-191)$$



### PIEZA B2'-C2':

$$\sum F_X = -R_{XC2'} + F_4 \cdot \sin \alpha_2' = 0$$

$$\sum F_Y = R_{YC2'} - F_4 \cdot \cos \alpha_2' = 0$$

$$\sum F_Z = R_{ZC2'} - F_{4Z1'} = 0$$

$$\sum M_{XC2'} = -F_{4Z1'} \cdot d_2 - M_{XC2'} + M_{XB2'} = 0$$

$$\sum M_{YC2'} = M_{YB2'} - M_{YC2'} = 0$$

$$\sum M_{ZC2'} = -F_4 \cdot \sin \alpha_2' \cdot d_2 + M_{ZC2'} = 0$$

$$R_{XC2'} = F_4 \cdot \sin \alpha_2' \quad (6.3-192)$$

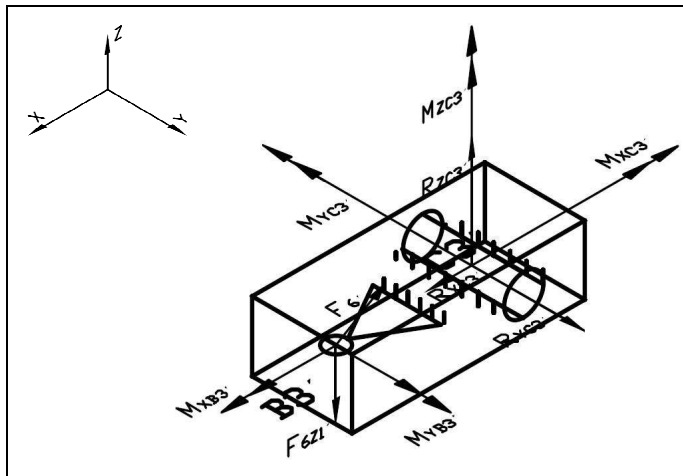
$$R_{YC2'} = F_4 \cdot \cos \alpha_2' \quad (6.3-193)$$

$$R_{ZC2'} = F_{4Z1'} \quad (6.3-194)$$

$$M_{XC2'} = -F_{4Z1'} \cdot d_2 + M_{XB2'} \quad (6.3-195)$$

$$M_{YC2'} = M_{YB2'} \quad (6.3-196)$$

$$M_{ZC2'} = +F_4 \cdot \sin \alpha_2' \cdot d_2 \quad (6.3-197)$$



### PIEZA B3'-C3':

$$\sum F_X = +R_{XC3'} - F_6 \cdot \cos \alpha_3' = 0$$

$$\sum F_Y = R_{YC3'} - F_6 \cdot \sin \alpha_3' = 0$$

$$\sum F_Z = R_{ZC3'} - F_{6Z1'} = 0$$

$$\sum M_{XC3'} = -M_{XC3'} + M_{XB3'} = 0$$

$$\sum M_{YC3'} = +F_{6Z1'} \cdot d_2 + M_{YB3'} - M_{YC3'} = 0$$

$$\sum M_{ZC3'} = -F_6 \cdot \sin \alpha_3' \cdot d_2 + M_{ZC3'} = 0$$

$$R_{XC3'} = F_6 \cdot \cos \alpha_3' \quad (6.3-198)$$

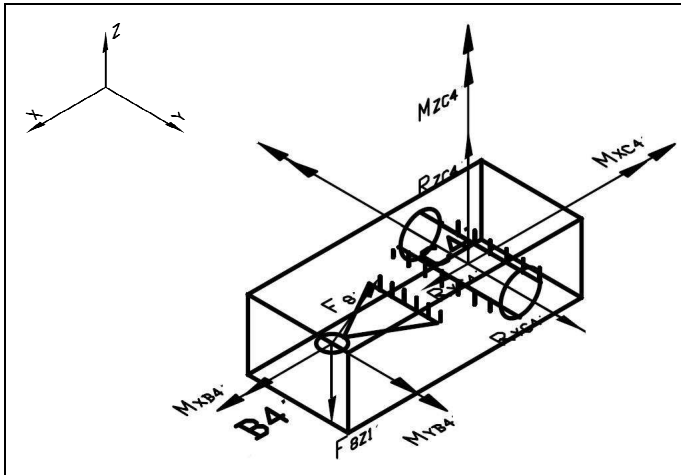
$$R_{YC3'} = F_6 \cdot \sin \alpha_3' \quad (6.3-199)$$

$$R_{ZC3'} = F_{6Z1'} \quad (6.3-200)$$

$$M_{XC3'} = M_{XB3'} \quad (6.3-201)$$

$$M_{YC3'} = +F_{6Z1'} \cdot d_2 + M_{YB3'} \quad (6.3-202)$$

$$M_{ZC3'} = +F_6 \cdot \sin \alpha_3' \cdot d_2 \quad (6.3-203)$$



### PIEZA B4'-C4':

$$\sum F_X = +R_{XC4'} - F_8 \cdot \cos \alpha_4 = 0$$

$$\sum F_Y = R_{YC4'} - F_8 \cdot \sin \alpha_4 = 0$$

$$\sum F_Z = R_{ZC4'} - F_{8Z1'} = 0$$

$$\sum M_{XC4'} = -M_{XC4'} + M_{XB4'} = 0$$

$$\sum M_{YC4'} = +F_{8Z1'} \cdot d_2 + M_{YB4'} - M_{YC4'} = 0$$

$$\sum M_{ZC4'} = -F_8 \cdot \sin \alpha_4 \cdot d_2 + M_{ZC4'} = 0$$

$$R_{XC4'} = F_8 \cdot \cos \alpha_4 \quad (6.3-204)$$

$$R_{YC4'} = F_8 \cdot \sin \alpha_4 \quad (6.3-205)$$

$$R_{ZC4'} = F_{8Z1'} \quad (6.3-206)$$

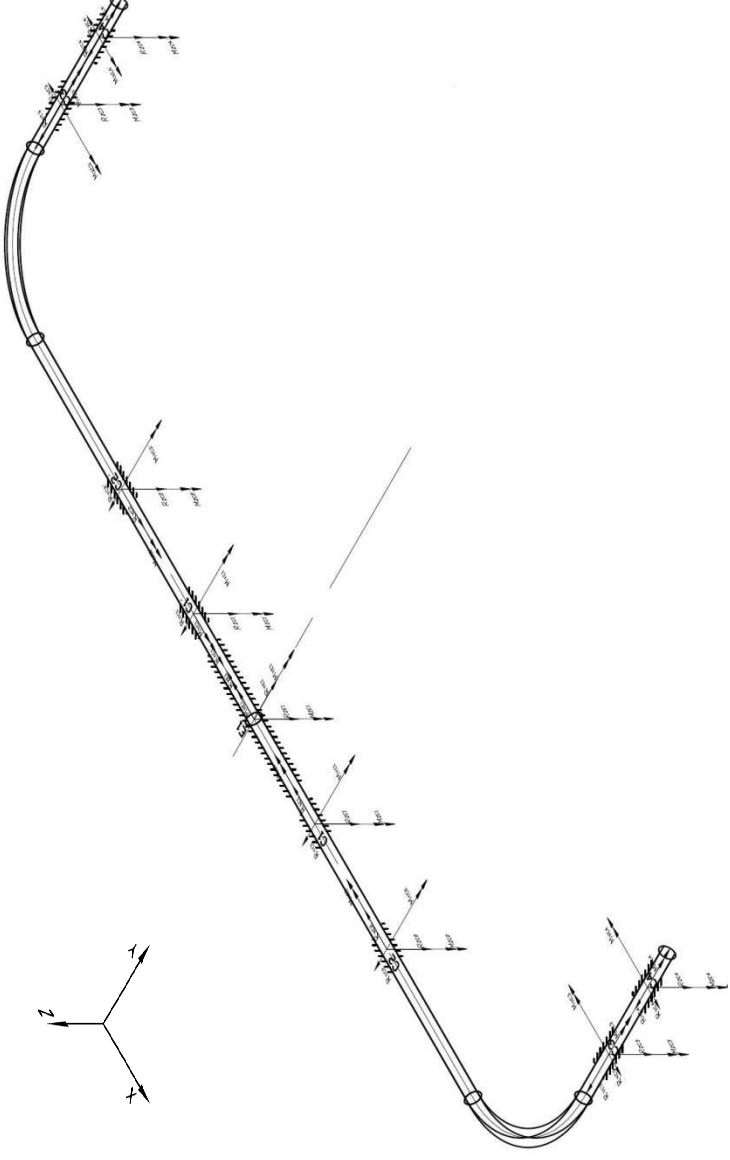
$$M_{XC4'} = M_{XB4'} \quad (6.3-207)$$

$$M_{YC4'} = +F_{8Z1'} \cdot d_2 + M_{YB4'} \quad (6.3-208)$$

$$M_{ZC4'} = +F_8 \cdot \sin \alpha_4 \cdot d_2 \quad (6.3-209)$$

6.3.3 - Cálculo de Fuerzas en Piezas centrales

**TUBO CURVO:**



$$\sum F_x = -R_{x_{C1}} - R_{x_{C2}} + R_{x_{C3}} + R_{x_{C4}} + R_{x_{C1'}} + R_{x_{C2'}} - R_{x_{C3'}} - R_{x_{C4'}} - R_{x_{E1}} = 0 \quad (6.3-210)$$

$$\sum F_y = -R_{y_{C1}} - R_{y_{C2}} - R_{y_{C3}} - R_{y_{C4}} - R_{y_{C1'}} - R_{y_{C2'}} - R_{y_{C3'}} - R_{y_{C4'}} + R_{y_{E1}} = 0 \quad (6.3-211)$$

$$\sum F_z = -R_{z_{C1}} - R_{z_{C2}} - R_{z_{C3}} - R_{z_{C4}} - R_{z_{C1'}} - R_{z_{C2'}} - R_{z_{C3'}} - R_{z_{C4'}} - R_{z_{E1}} = 0 \quad (6.3-212)$$

$$\sum M_{x_{E1}} = -R_{z_{C3}} * y_{C4} - R_{z_{C4}} * y_{C3} - R_{z_{C4'}} * y_{C3'} - R_{z_{C4'}} * y_{C4'} - M_{x_{C1}} - M_{x_{C2}} - M_{x_{C3}} - M_{x_{C4}} + M_{x_{C1'}} + M_{x_{C2'}} + M_{x_{C3'}} + M_{x_{C4'}} - M_{x_{E1}} = 0 \quad (6.3-213)$$

$$\sum M_{y_{E1}} = R_{z_{C1}} * x_{C1} + R_{z_{C2}} * x_{C2} + R_{z_{C3}} * x_{C3} + R_{z_{C4}} * x_{C4} - R_{z_{C1'}} * |x_{C1'}| - R_{z_{C2'}} * |x_{C2'}| - R_{z_{C3'}} * |x_{C3'}| - R_{z_{C4'}} * |x_{C4'}| + M_{y_{C1}} + M_{y_{C2}} + M_{y_{C3}} + M_{y_{C4}} + M_{y_{C1'}} + M_{y_{C2'}} + M_{y_{C3'}} + M_{y_{C4'}} + M_{y_{E1}} = 0 \quad (6.3-214)$$

$$\sum M_{z_{E1}} = -R_{y_{C1}} * x_{C1} - R_{y_{C2}} * x_{C2} - R_{y_{C3}} * x_{C3} - R_{y_{C4}} * x_{C4} - R_{y_{C1'}} * |x_{C1'}| + R_{y_{C2'}} * |x_{C2'}| + R_{y_{C3'}} * |x_{C3'}| + R_{y_{C4'}} * |x_{C4'}| + R_{x_{C4}} * y_{C4} - M_{z_{C1}} - M_{z_{C2}} - M_{z_{C3}} - M_{z_{C4}} - M_{z_{C1'}} - M_{z_{C2'}} - M_{z_{C3'}} - M_{z_{C4'}} - M_{z_{E1}} = 0 \quad (6.3-215)$$

De (210) se obtiene:

$$R_{x_{E1}} = -R_{x_{C1}} - R_{x_{C2}} + R_{x_{C3}} + R_{x_{C4}} + R_{x_{C1'}} + R_{x_{C2'}} - R_{x_{C3'}} - R_{x_{C4'}} \quad (6.3-216)$$

De (211) se obtiene:

$$R_{y_{E1}} = R_{y_{C1}} + R_{y_{C2}} + R_{y_{C3}} + R_{y_{C4}} + R_{y_{C1'}} + R_{y_{C2'}} + R_{y_{C3'}} + R_{y_{C4'}} \quad (6.3-217)$$

De (212) se obtiene:

$$R_{z_{E1}} = -R_{z_{C1}} - R_{z_{C2}} - R_{z_{C3}} - R_{z_{C4}} - R_{z_{C1'}} - R_{z_{C2'}} - R_{z_{C3'}} - R_{z_{C4'}} \quad (6.3-218)$$

De (213) se obtiene:

$$M_{x_{E1}} = -R_{z_{C3}} * y_{C4} - R_{z_{C4}} * y_{C3} - R_{z_{C4'}} * y_{C3'} - R_{z_{C4'}} * y_{C4'} - M_{x_{C1}} - M_{x_{C2}} - M_{x_{C3}} - M_{x_{C4}} + M_{x_{C1'}} + M_{x_{C2'}} + M_{x_{C3'}} + M_{x_{C4'}} \quad (6.3-219)$$

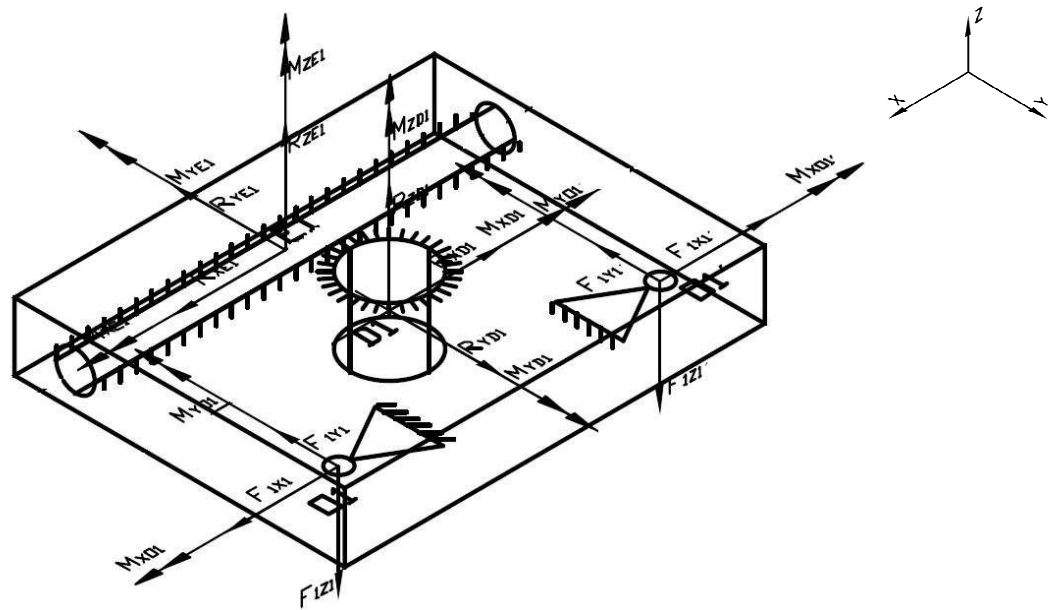
De (214) se obtiene:

$$M_{y_{E1}} = -R_{z_{C1}} * x_{C1} - R_{z_{C2}} * x_{C2} - R_{z_{C3}} * x_{C3} - R_{z_{C4}} * x_{C4} + R_{z_{C1'}} * |x_{C1'}| + R_{z_{C2'}} * |x_{C2'}| + R_{z_{C3'}} * |x_{C3'}| + R_{z_{C4'}} * |x_{C4'}| - M_{y_{C1}} - M_{y_{C2}} - M_{y_{C3}} - M_{y_{C4}} - M_{y_{C1'}} - M_{y_{C2'}} - M_{y_{C3'}} - M_{y_{C4'}} \quad (6.3-220)$$

De (215) se obtiene:

$$M_{z_{E1}} = -R_{y_{C1}} * x_{C1} - R_{y_{C2}} * x_{C2} - R_{y_{C3}} * x_{C3} - R_{y_{C4}} * x_{C4} - R_{y_{C1'}} * |x_{C1'}| + R_{y_{C2'}} * |x_{C2'}| + R_{y_{C3'}} * |x_{C3'}| + R_{y_{C4'}} * |x_{C4'}| + R_{x_{C4}} * y_{C4} - M_{z_{C1}} - M_{z_{C2}} - M_{z_{C3}} - M_{z_{C4}} - M_{z_{C1'}} - M_{z_{C2'}} - M_{z_{C3'}} - M_{z_{C4'}} \quad (6.3-221)$$

**PIEZA 01-O1':**



$$(6.3-222) \quad \sum F_X = F_{1X1} - F_{1X1'} - R_{XD1} + R_{XE1} = 0$$

$$(6.3-223) \quad \sum F_Y = -F_{1Y1} - F_{1Y1'} + R_{YD1} - R_{YE1} = 0$$

$$(6.3-224) \quad \sum F_Z = -F_{1Z1} - F_{1Z1'} + R_{ZD1} + R_{ZE1} = 0$$

$$(6.3-225) \quad \sum M_{XE1} = -F_{1Z1} * d_1 - F_{1Z1'} * d_1 + R_{ZD1} * y_{D1} + M_{XO1} - M_{XO1'} - M_{XD1} + M_{XE1} = 0$$

$$(6.3-226) \quad \sum M_{YE1} = F_{1Z1} * x_{O1} - F_{1Z1'} * |x_{O1'}| - M_{YO1} - M_{YO1'} + M_{YD1} - M_{YE1} = 0$$

$$(6.3-227) \quad \sum M_{ZE1} = -F_{1X1} * d_1 - F_{1Y1} * x_{O1} + F_{1X1'} * d_1 + F_{1Y1'} * |x_{O1'}| + R_{XD1} * y_{D1} + M_{ZD1} + M_{ZE1} = 0$$

De (222) se obtiene:

$$R_{XD1} = F_{1X1} - F_{1X1'} + R_{XE1} \quad (6.3-228)$$

De (223) se obtiene:

$$R_{YD1} = F_{1Y1} + F_{1Y1'} + R_{YE1} \quad (6.3-229)$$

De (224) se obtiene:

$$R_{ZD1} = F_{1Z1} + F_{1Z1'} - R_{ZE1} \quad (6.3-230)$$

De (225) se obtiene:

$$M_{XD1} = -F_{1Z1} * d_1 - F_{1Z1'} * d_1 + R_{ZD1} * y_{D1} + M_{XO1} - M_{XO1'} + M_{XE1} \quad (6.3-231)$$

De (226) se obtiene:

$$M_{YD1} = -F_{1Z1} * x_{O1} + F_{1Z1'} * |x_{O1'}| + M_{YO1} + M_{YO1'} + M_{YE1} \quad (6.3-232)$$

De (227) se obtiene:

$$M_{ZD1} = F_{1X1} * d_1 + F_{1Y1} * x_{O1} - F_{1X1'} * d_1 - F_{1Y1'} * |x_{O1'}| - R_{XD1} * y_{D1} - M_{ZE1} \quad (6.3-233)$$

## 6.4 - ANÁLISIS ESTÁTICO DE COSTILLA MEDIA

(Ver folio 4 del plano EIM-01-06-M-001.dwg en ANEXO C)

### 6.4.1 - Cálculo De Fuerzas Lado Derecho

	<b>BARRA 11:</b>
	<p>(6.4-1) <math>\sum F_X = -F_{11X1} + F_{11X2} + F_{eq11} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{11}) = 0</math></p> <p>(6.4-2) <math>\sum F_Y = F_{11Y1} + F_{11Y2} - F_{eq11} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{11}) = 0</math></p> <p>(6.4-3) <math>\sum F_Z = F_{11Z1} + F_{11Z2} - F_{eq11} * \sin \beta = 0</math></p> <p>(6.4-4) <math>\sum M_{XO11} = F_{11Z2} * m_1 * \cos(\theta_{11}) - F_{eq11} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \cos(\theta_{11}) - M_{XO11} = 0</math></p> <p>(6.4-5) <math>\sum M_{YO11} = -F_{11Z2} * m_1 * \sin(\theta_{11}) + F_{eq11} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \sin(\theta_{11}) + M_{YO11} = 0</math></p> <p>(6.4-6) <math>F_{11Y1} = F_{11X1} * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})}</math></p> <p>(6.4-7) <math>F_{11Y2} = F_{11X2} * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})}</math></p>

De (6.4-2), (6.4-6) y (6.4-7) se obtiene:

$$0 = F_{11X1} * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} + F_{11X2} * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} - F_{eq11} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{11}) \quad (6.4-8)$$

De (6.4-1) se obtiene:

$$F_{11X1} = F_{11X2} + F_{eq11} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{11}) \quad (6.4-9)$$

De (6.4-8) y (6.4-9) se obtiene:

$$0 = [F_{11X2} + F_{eq11} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{11})] * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} + F_{11X2} * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} - F_{eq11} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{11}) = F_{11X2} * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} + F_{eq11} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{11}) * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} + F_{11X2} * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} - F_{eq11} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{11}) = 2 * F_{11X2} * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} + F_{eq11} * \cos(\beta) * \left[ \sin(90^\circ - \theta_{11}) * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} - \cos(90^\circ - \theta_{11}) \right]$$

$$F_{11X2} = \frac{1}{2} * \frac{\sin(\theta_{11})}{\cos(\theta_{11})} * F_{eq11} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}) - \sin(90^\circ - \theta_{11}) * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} \right] = \frac{1}{2} * F_{eq11} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}) * \frac{\sin(\theta_{11})}{\cos(\theta_{11})} - \sin(90^\circ - \theta_{11}) \right] \quad (6.4-10)$$

De (6.4-9) y (6.4-10) se obtiene:

$$F_{11X1} = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq11} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}) * \frac{\sin(\theta_{11})}{\cos(\theta_{11})} - \sin(90^\circ - \theta_{11}) \right] \right\} + F_{eq11} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{11}) = \frac{1}{2} * F_{eq11} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}) * \frac{\sin(\theta_{11})}{\cos(\theta_{11})} + \sin(90^\circ - \theta_{11}) \right] \quad (6.4-11)$$

De (6.4-6) y (6.4-11) se obtiene:

$$F_{11Y1} = F_{11X1} * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq11} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}) * \frac{\sin(\theta_{11})}{\cos(\theta_{11})} + \sin(90^\circ - \theta_{11}) \right] \right\} * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} = \frac{1}{2} * F_{eq11} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}) + \sin(90^\circ - \theta_{11}) * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} \right] \quad (6.4-12)$$

De (6.4-7) y (6.4-10) se obtiene:

$$F_{11Y2} = F_{11X2} * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq11} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}) * \frac{\sin(\theta_{11})}{\cos(\theta_{11})} - \sin(90^\circ - \theta_{11}) \right] \right\} * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} = \frac{1}{2} * F_{eq11} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}) - \sin(90^\circ - \theta_{11}) * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} \right] \quad (6.4-13)$$

De (6.4-3) y suponiendo que  $F_{1Z1} = F_{1Z2}$ , se obtiene:

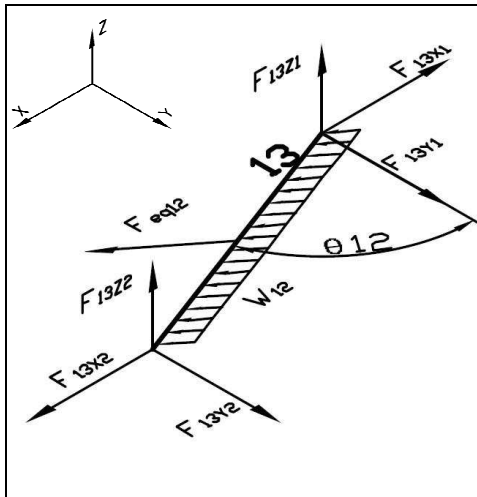
$$F_{11Z1} = F_{11Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq11} * \sin \beta \quad (6.4-14)$$

De (6.4-4) y (6.4-14), se obtiene:

$$M_{XO11} = F_{11Z2} * m_1 * \cos(\theta_{11}) - F_{eq11} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \cos(\theta_{11}) = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq11} * \sin \beta \right\} * m_1 * \cos(\theta_{11}) - F_{eq11} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \cos(\theta_{11}) = 0 \quad (6.4-15)$$

De (6.4-5) y (6.4-14), se obtiene:

$$M_{YO11} = F_{11Z2} * m_1 * \sin(\theta_{11}) - F_{eq11} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \sin(\theta_{11}) = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq11} * \sin \beta \right\} * m_1 * \sin(\theta_{11}) - F_{eq11} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \sin(\theta_{11}) = 0 \quad (6.4-16)$$



### BARRA 13:

$$(6.4-17) \quad \sum F_X = -F_{13X1} + F_{13X2} + F_{eq12} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{12}) = 0$$

$$(6.4-18) \quad \sum F_Y = F_{13Y1} + F_{13Y2} - F_{eq12} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{12}) = 0$$

$$(6.4-19) \quad \sum F_Z = F_{13Z1} + F_{13Z2} - F_{eq12} * \sin \beta = 0$$

$$(6.4-20) \quad \sum M_{XA11} = F_{13Z2} * m_2 * \cos(\theta_{12}) - F_{eq12} * \sin(\beta) * \frac{m_2}{2} * \cos(\theta_{12}) = 0$$

$$(6.4-21) \quad F_{13Y1} = F_{13X1} * \frac{\cos(\theta_{12})}{\sin(\theta_{12})}$$

$$(6.4-22) \quad F_{13Y2} = F_{13X2} * \frac{\cos(\theta_{12})}{\sin(\theta_{12})}$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 11, obteniéndose:

$$F_{13X2} = \frac{1}{2} * F_{eq12} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}) * \frac{\sin(\theta_{12})}{\cos(\theta_{12})} - \sin(90^\circ - \theta_{12}) \right] \quad (6.4-23)$$

$$F_{13X1} = \frac{1}{2} * F_{eq12} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}) * \frac{\sin(\theta_{12})}{\cos(\theta_{12})} + \sin(90^\circ - \theta_{12}) \right] \quad (6.4-24)$$

$$F_{13Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq12} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}) + \sin(90^\circ - \theta_{12}) * \frac{\cos(\theta_{12})}{\sin(\theta_{12})} \right] \quad (6.4-25)$$

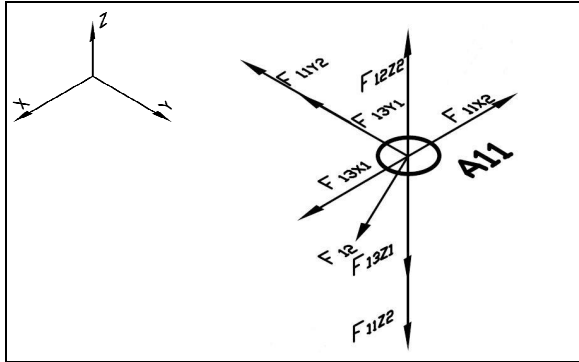
$$F_{13Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq12} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}) - \sin(90^\circ - \theta_{12}) * \frac{\cos(\theta_{12})}{\sin(\theta_{12})} \right] \quad (6.4-26)$$

De (6.4-20) se obtiene:

$$F_{13Z2} = \left[ F_{eq12} * \sin(\beta) * \frac{m_2}{2} * \cos(\theta_{12}) \right] / [m_2 * \cos(\theta_{12})] = \frac{1}{2} * F_{eq12} * \sin(\beta) \quad (6.4-27)$$

De (6.4-19) y (6.4-27) se obtiene:

$$F_{13Z1} = - \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq12} * \sin(\beta) \right\} + F_{eq12} * \sin \beta = \frac{1}{2} * F_{eq12} * \sin(\beta) \quad (6.4-28)$$

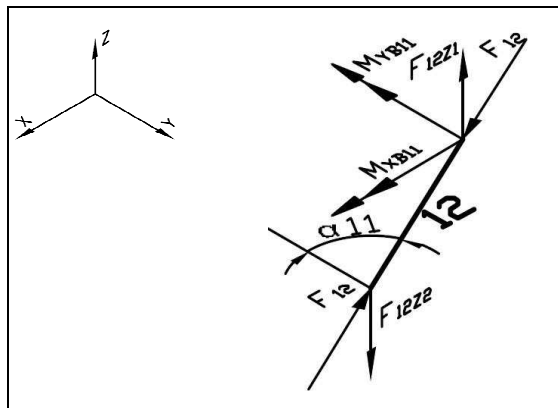
	<b>NODO A11:</b> $(6.4-29) \quad \sum F_X = F_{13x1} - F_{11x2} + F_{12} * \sin \alpha_{11} = 0$ $\sum F_Y = -F_{13y1} - F_{11y2} + F_{12} * \cos \alpha_{11} = 0$ $(6.4-30) \quad \sum F_Z = -F_{13z1} - F_{11z2} + F_{12z2} = 0$
---	---

De (6.4-29), (6.4-24) y (6.4-10) se obtiene:

$$F_{12} = \frac{-F_{13x1} + F_{11x2}}{\sin \alpha_{11}} \quad (6.4-31)$$

De (6.4-30), (6.4-28) y (6.4-14) se obtiene:

$$F_{12z2} = F_{13z1} + F_{11z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq12} + F_{eq11}] \quad (6.4-32)$$

	<b>BARRA 12:</b> $\sum F_X = F_{12} * \sin \alpha_{11} - F_{12} * \sin \alpha_{11} = 0$ $\sum F_Y = F_{12} * \cos \alpha_{11} - F_{12} * \cos \alpha_{11} = 0$ $(6.4-33) \quad \sum F_Z = F_{12z1} - F_{12z2} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> $(6.4-34) \quad \sum M_{XB11} = -F_{12z2} * b_1 * \cos \alpha_{11} + M_{XB11} = 0$ $(6.4-35) \quad \sum M_{YB11} = F_{12z2} * b_1 * \sin \alpha_{11} - M_{YB11} = 0$
--	--

De (6.4-33) y (6.4-32) se obtiene:

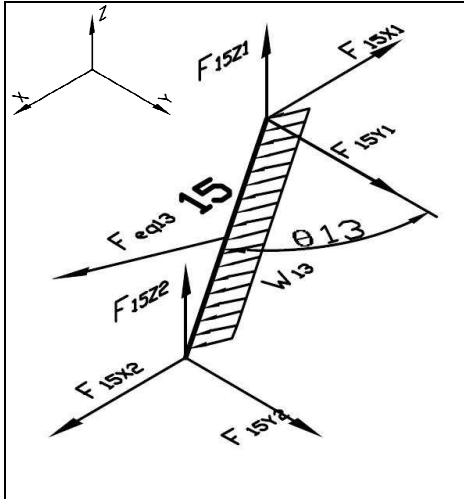
$$F_{12z1} = F_{12z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq12} + F_{eq11}] \quad (6.4-36)$$

De (6.4-34) y (6.4-32) se obtiene:

$$M_{XB11} = F_{12z2} * b_1 * \cos \alpha_{11} = \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{11} * [F_{eq12} + F_{eq11}] \quad (6.4-37)$$

De (6.4-35) y (6.4-32) se obtiene:

$$M_{YB11} = F_{12z2} * b_1 * \sin \alpha_{11} = \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{11} * [F_{eq12} + F_{eq11}] \quad (6.4-38)$$



### BARRA 15:

$$(6.4-39) \quad \sum F_X = -F_{15X1} + F_{15X2} + F_{eq13} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{13}) = 0$$

$$(6.4-40) \quad \sum F_Y = F_{15Y1} + F_{15Y2} - F_{eq13} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{13}) = 0$$

$$(6.4-41) \quad \sum F_Z = F_{15Z1} + F_{15Z2} - F_{eq13} * \sin \beta = 0$$

$$(6.4-42) \quad \sum M_{XA12} = F_{15Z2} * m_3 * \cos(\theta_{13}) - F_{eq13} * \sin(\beta) * \frac{m_3}{2} * \cos(\theta_{13}) = 0$$

$$(6.4-43) \quad F_{15Y1} = F_{15X1} * \frac{\cos(\theta_{13})}{\sin(\theta_{13})}$$

$$(6.4-44) \quad F_{15Y2} = F_{15X2} * \frac{\cos(\theta_{13})}{\sin(\theta_{13})}$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 13, obteniéndose:

$$F_{15X2} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}) * \frac{\sin(\theta_{13})}{\cos(\theta_{13})} - \sin(90^\circ - \theta_{13}) \right] \quad (6.4-45)$$

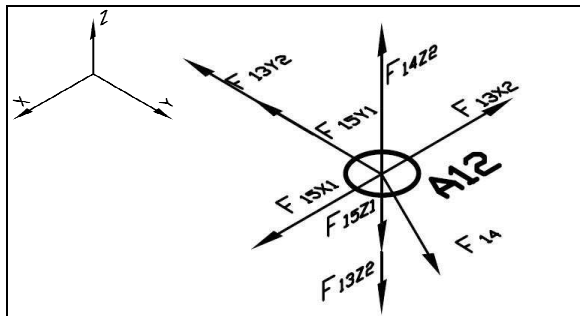
$$F_{15X1} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}) * \frac{\sin(\theta_{13})}{\cos(\theta_{13})} + \sin(90^\circ - \theta_{13}) \right] \quad (6.4-46)$$

$$F_{15Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}) + \sin(90^\circ - \theta_{13}) * \frac{\cos(\theta_{13})}{\sin(\theta_{13})} \right] \quad (6.4-47)$$

$$F_{15Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}) - \sin(90^\circ - \theta_{13}) * \frac{\cos(\theta_{13})}{\sin(\theta_{13})} \right] \quad (6.4-48)$$

$$F_{15Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \sin(\beta) \quad (6.4-49)$$

$$F_{15Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \sin(\beta) \quad (6.4-50)$$



### NODO A12:

$$(6.4-51) \quad \sum F_X = F_{15X1} - F_{13X2} + F_{14} * \sin \alpha_{12} = 0$$

$$\sum F_Y = -F_{15Y1} - F_{13Y2} + F_{14} * \cos \alpha_{12} = 0$$

$$(6.4-52) \quad \sum F_Z = -F_{15Z1} - F_{13Z2} + F_{14Z2} = 0$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para NODO A11, obteniéndose:

$$F_{14} = \frac{\frac{1}{2} * F_{eq12} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}) * \frac{\sin(\theta_{12})}{\cos(\theta_{12})} - \sin(90^\circ - \theta_{12}) \right] - \frac{1}{2} * F_{eq13} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}) * \frac{\sin(\theta_{13})}{\cos(\theta_{13})} + \sin(90^\circ - \theta_{13}) \right]}{\sin \alpha_{12}} \quad (6.4-53)$$

$$F_{14Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq13} + F_{eq12}] \quad (6.4-54)$$

	<b>BARRA 14:</b>
	$\sum F_X = F_{14} * \sin \alpha_{12} - F_{14} * \sin \alpha_{12} = 0$ $\sum F_Y = F_{14} * \cos \alpha_{12} - F_{14} * \cos \alpha_{12} = 0$ $(6.4-55) \quad \sum F_Z = F_{14Z1} - F_{14Z2} = 0$ $(6.4-56) \quad \sum M_{XB12} = -F_{14Z2} * b_2 * \cos \alpha_{12} + M_{XB12} = 0$ $(6.4-57) \quad \sum M_{YB12} = F_{14Z2} * b_2 * \sin \alpha_{12} - M_{YB12} = 0$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 12, obteniéndose:

$$F_{14Z1} = F_{14Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq13} + F_{eq12}] \quad (6.4-58)$$

$$M_{XB12} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{12} * [F_{eq13} + F_{eq12}] \quad (6.4-59)$$

$$M_{YB12} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{12} * [F_{eq13} + F_{eq12}] \quad (6.4-60)$$

	<b>NODO A13:</b>
	$(6.4-83) \quad \sum F_X = -F_{15X2} - F_{16} * \cos \alpha_{13} = 0$ $\sum F_Y = -F_{15Y2} + F_{16} * \sin \alpha_{13} = 0$ $(6.4-84) \quad \sum F_Z = -F_{15Z2} + F_{16Z2} = 0$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para NODO A11, obteniéndose:

$$F_{16} = \frac{[-F_{15X2}]}{\cos \alpha_{13}} = \frac{-\frac{1}{2} * F_{eq13} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_{13}) * \frac{\sin(\theta_{13})}{\cos(\theta_{13})} - \sin(90^\circ - \theta_{13})]}{\cos \alpha_{13}} \quad (6.4-85)$$

$$F_{16Z2} = F_{15Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \sin(\beta) \quad (6.4-86)$$

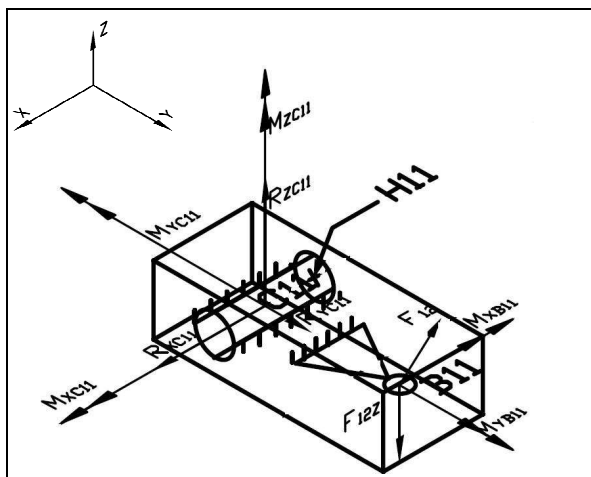
	<b>BARRA 16:</b>
	$\sum F_X = F_{16} * \cos \alpha_{13} - F_{16} * \cos \alpha_{13} = 0$ $\sum F_Y = F_{16} * \sin \alpha_{13} - F_{16} * \sin \alpha_{13} = 0$ $(6.4-87) \quad \sum F_Z = F_{16Z1} - F_{16Z2} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> $(6.4-88) \quad \sum M_{XB13} = -F_{16Z2} * b_3 * \sin \alpha_{13} + M_{XB13} = 0$ $(6.4-89) \quad \sum M_{YB13} = -F_{16Z2} * b_3 * \cos \alpha_{13} - M_{YB13} = 0$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 12, obteniéndose:

$$F_{16Z1} = F_{16Z2} = F_{5Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \sin(\beta) \quad (6.4-90)$$

$$M_{XB13} = \frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{13} * F_{eq13} \quad (6.4-91)$$

$$M_{YB13} = -\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{13} * F_{eq13} \quad (6.4-92)$$



PIEZA B11-C11:	
(6.4-93)	$\sum F_X = R_{XC11} - F_{12} * \sin \alpha_{11} = 0$
(6.4-94)	$\sum F_Y = R_{YC11} - F_{12} * \cos \alpha_{11} = 0$
(6.4-95)	$\sum F_Z = R_{ZC11} - F_{12Z1} = 0$
(6.4-96)	$\sum M_{XC11} = -F_{12Z1} * d_2 + M_{XC11} - M_{XB11} = 0$
(6.4-97)	$\sum M_{YC11} = M_{YB11} - M_{YC11} = 0$
(6.4-98)	$\sum M_{ZC11} = F_{12} * \sin \alpha_{11} * d_2 + M_{ZC11} = 0$

De (6.4-93) y (6.4-31) se obtiene:  $R_{XC11} = F_{12} * \sin \alpha_{11}$  (6.4-99)

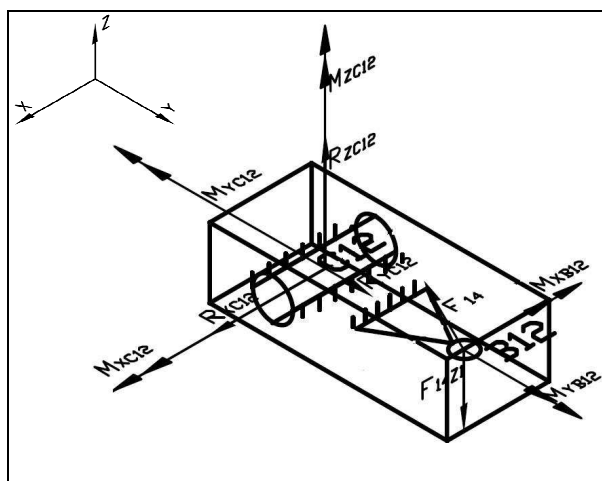
De (6.4-94) y (6.4-31) se obtiene:  $R_{YC11} = F_{12} * \cos \alpha_{11}$  (6.4-100)

De (6.4-95) y (6.4-36) se obtiene:  $R_{ZC11} = F_{12Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq12} + F_{eq11}]$  (6.4-101)

De (6.4-96), (6.4-36) y (6.4-37) se obtiene:  $M_{XC11} = F_{12Z1} * d_2 + M_{XB11}$  (6.4-102)

De (6.4-97) y (6.4-38) se obtiene:  $M_{YC11} = M_{YB11}$  (6.4-103)

De (6.4-98) y (6.4-31) se obtiene:  $M_{ZC11} = -F_{12} * \sin \alpha_{11} * d_2$  (6.4-104)



PIEZA B12-C12:	
(6.4-105)	$\sum F_X = R_{XC12} - F_{14} * \sin \alpha_{12} = 0$
(6.4-106)	$\sum F_Y = R_{YC12} - F_{14} * \cos \alpha_{12} = 0$
(6.4-107)	$\sum F_Z = R_{ZC12} - F_{14Z1} = 0$
(6.4-108)	$\sum M_{XC12} = -F_{14Z1} * d_2 + M_{XC12} - M_{XB12} = 0$
(6.4-109)	$\sum M_{YC12} = M_{YB12} - M_{YC12} = 0$
(6.4-110)	$\sum M_{ZC12} = F_{14} * \sin \alpha_{12} * d_2 + M_{ZC12} = 0$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para PIEZA B11-C11, obteniéndose:

$R_{XC12} = F_{14} * \sin \alpha_{12}$  (6.4-111)

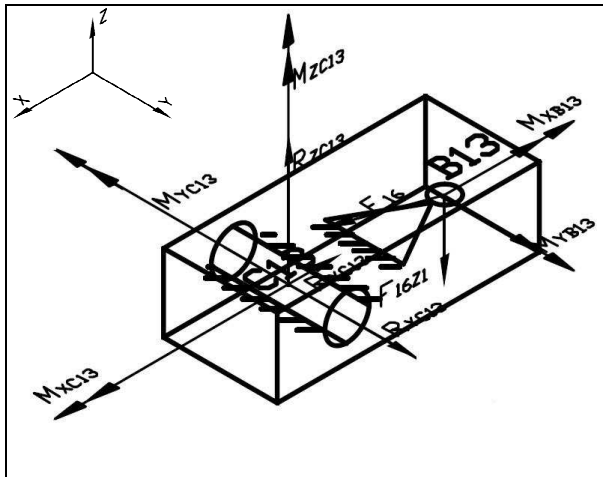
$R_{YC12} = F_{14} * \cos \alpha_{12}$  (6.4-112)

$R_{ZC12} = F_{14Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq13} + F_{eq12}]$  (6.4-113)

$M_{XC12} = F_{14Z1} * d_2 + M_{XB12} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq13} + F_{eq12}] * [d_2 + b_2 * \cos \alpha_{12}]$  (6.4-114)

$M_{YC12} = M_{YB12} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{12} * [F_{eq13} + F_{eq12}]$  (6.4-115)

$M_{ZC12} = -F_{14} * \sin \alpha_{12} * d_2$  (6.4-116)



**PIEZA B13-C13:**

$$(6.4-117) \quad \sum F_X = -R_{XC13} + F_{16} * \cos \alpha_{13} = 0$$

$$(6.4-118) \quad \sum F_Y = R_{YC13} - F_{16} * \sin \alpha_{13} = 0$$

$$(6.4-119) \quad \sum F_Z = R_{ZC13} - F_{16Z1} = 0$$

$$(6.4-120) \quad \sum M_{XC13} = M_{XC13} - M_{XB13} = 0$$

$$(6.4-121) \quad \sum M_{YC13} = -F_{16Z1} * d_2 + M_{YB13} - M_{YC13} = 0$$

$$(6.4-122) \quad \sum M_{ZC13} = F_{16} * \sin \alpha_{13} * d_2 + M_{ZC13} = 0$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para PIEZA B11-C11, obteniéndose:

$$R_{XC13} = F_{16} * \cos \alpha_{13} \quad (6.4-123)$$

$$R_{YC13} = F_{16} * \sin \alpha_{13} \quad (6.4-124)$$

$$R_{ZC13} = F_{16Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq14} + F_{eq13}] \quad (6.4-125)$$

$$M_{XC13} = M_{XB13} \quad (6.4-126)$$

$$M_{YC13} = -F_{16Z1} * d_2 + M_{YB13} \quad (6.4-127)$$

$$M_{ZC13} = -F_{16} * \sin \alpha_{13} * d_2 \quad (6.4-128)$$

### 6.3.2 - Cálculo De Fuerzas Lado Izquierdo

Procediendo de manera análoga al cálculo de fuerzas del lado derecho de la costilla se obtiene:

	<p><b>BARRA 11':</b></p> $\sum F_X = -F_{11X1'} + F_{11X2'} - F_{eq11'} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{11}') = 0$ $\sum F_Y = F_{11Y1'} + F_{11Y2'} - F_{eq11'} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{11}') = 0$ $\sum F_Z = F_{11Z1'} + F_{11Z2'} - F_{eq11'} * \sin \beta = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> $\sum M_{XO11'} = F_{11Z2'} * m_1 * \cos(\theta_{11}') - F_{eq11'} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \cos(\theta_{11}') + M_{XO11'} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> $\sum M_{YO11'} = +F_{11Z2'} * m_1 * \sin(\theta_{11}') - F_{eq11'} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \sin(\theta_{11}') + M_{YO11'} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> $F_{11Y1'} = F_{11X1'} * \frac{\cos(\theta_{11}')}{\sin(\theta_{11}')}$ $F_{11Y2'} = F_{11X2'} * \frac{\cos(\theta_{11}')}{\sin(\theta_{11}')}$
--	---

$$F_{11X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq11'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}') * \frac{\sin(\theta_{11}')}{\cos(\theta_{11}')} + \sin(90^\circ - \theta_{11}') \right] \quad (6.4-141)$$

$$F_{11X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq11'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}') * \frac{\sin(\theta_{11}')}{\cos(\theta_{11}')} - \sin(90^\circ - \theta_{11}') \right] \quad (6.4-142)$$

$$F_{11Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq11'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}') - \sin(90^\circ - \theta_{11}') * \frac{\cos(\theta_{11}')}{\sin(\theta_{11}')} \right] \quad (6.4-143)$$

$$F_{11Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq11'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}') + \sin(90^\circ - \theta_{11}') * \frac{\cos(\theta_{11}')}{\sin(\theta_{11}')} \right] \quad (6.4-144)$$

$$F_{11Z1'} = F_{11Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq11'} * \sin \beta \quad (6.4-145)$$

$$M_{XO11'} = - \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq11'} * \sin \beta \right\} * m_1 * \cos(\theta_{11}') + F_{eq11'} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \cos(\theta_{11}') = 0 \quad (6.4-146)$$

$$M_{YO11'} = - \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq11'} * \sin \beta \right\} * m_1 * \sin(\theta_{11}') + F_{eq11'} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \sin(\theta_{11}') = 0 \quad (6.4-147)$$

	<p><b>BARRA 13':</b></p> $\sum F_X = -F_{13X1'} + F_{13X2'} - F_{eq12'} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{12}') = 0$ $\sum F_Y = F_{13Y1'} + F_{13Y2'} - F_{eq12'} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{12}') = 0$ $\sum F_Z = F_{13Z1'} + F_{13Z2'} - F_{eq12'} * \sin \beta = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> $\sum M_{XA11'} = F_{13Z2'} * m_2 * \cos(\theta_{12}') - F_{eq12'} * \sin(\beta) * \frac{m_2}{2} * \cos(\theta_{12}') = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> $F_{13Y1'} = F_{13X1'} * \frac{\cos(\theta_{12}')}{\sin(\theta_{12}')}$ $F_{13Y2'} = F_{13X2'} * \frac{\cos(\theta_{12}')}{\sin(\theta_{12}')}$
--	--

$$F_{13X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq12'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}') * \frac{\sin(\theta_{12}')}{\cos(\theta_{12}')} + \sin(90^\circ - \theta_{12}') \right] \quad (6.4-148)$$

$$F_{13X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq12'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}') * \frac{\sin(\theta_{12}')}{\cos(\theta_{12}')} - \sin(90^\circ - \theta_{12}') \right] \quad (6.4-149)$$

$$F_{13Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq12'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}') - \sin(90^\circ - \theta_{12}') * \frac{\cos(\theta_{12}')}{\sin(\theta_{12}')} \right] \quad (6.4-150)$$

$$F_{13Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq12'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}') + \sin(90^\circ - \theta_{12}') * \frac{\cos(\theta_{12}')}{\sin(\theta_{12}')} \right] \quad (6.4-151)$$

$$F_{13Z2'} = \left[ F_{eq12'} * \sin(\beta) * \frac{m_2}{2} * \cos(\theta_{12}') \right] / [m_2 * \cos(\theta_{12}')] = \frac{1}{2} * F_{eq12'} * \sin(\beta) \quad (6.4-152)$$

$$F_{13Z1'} = - \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq12'} * \sin(\beta) \right\} + F_{eq12'} * \sin \beta = \frac{1}{2} * F_{eq12'} * \sin(\beta) \quad (6.4-153)$$

	<b>NODO A11':</b>
	$\sum F_X = -F_{13X1'} + F_{11X2'} - F_{12'} * \sin \alpha_{11}' = 0$ $\sum F_Y = -F_{13Y1'} - F_{11Y2'} + F_{12'} * \cos \alpha_{11}' = 0$ $\sum F_Z = -F_{13Z1'} - F_{11Z2'} + F_{12Z2'} = 0$

$$F_{12'} = \frac{-F_{13X1'} + F_{11X2'}}{\sin \alpha_{11}'} \quad (6.4-154)$$

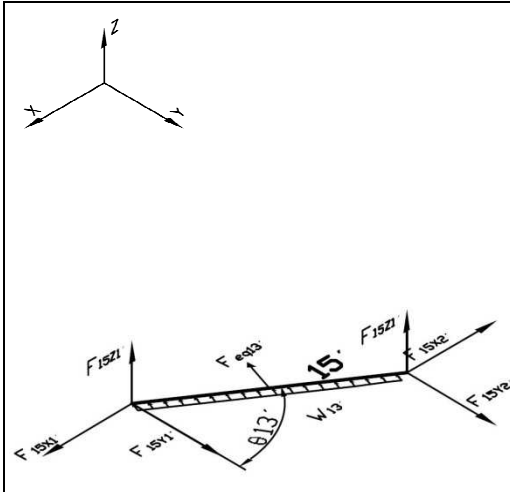
$$F_{12Z2'} = F_{13Z1'} + F_{11Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq12'} + F_{eq11'}] \quad (6.4-155)$$

	<b>BARRA 12':</b>
	$\sum F_X = F_{12'} * \sin \alpha_{11}' - F_{12'} * \sin \alpha_{11}' = 0$ $\sum F_Y = F_{12'} * \cos \alpha_{11}' - F_{12'} * \cos \alpha_{11}' = 0$ $\sum F_Z = F_{12Z1'} - F_{12Z2'} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> $\sum M_{XB11} = -F_{12Z2'} * b_1 * \cos \alpha_{11}' - M_{XB11}' = 0$ $\sum M_{YB11} = -F_{12Z2'} * b_1 * \sin \alpha_{11}' - M_{YB11}' = 0$

$$F_{12Z1'} = F_{12Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq12'} + F_{eq11'}] \quad (6.4-156)$$

$$M_{XB11}' = -F_{12Z2'} * b_1 * \cos \alpha_{11}' \quad (6.4-157)$$

$$M_{YB11}' = -F_{12Z2'} * b_1 * \sin \alpha_{11}' \quad (6.4-158)$$



### BARRA 15':

$$\sum F_X = +F_{15X1'} - F_{15X2'} - F_{eq13'} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{13}') = 0$$

$$\sum F_Y = F_{15Y1'} + F_{15Y2'} - F_{eq13'} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{13}') = 0$$

$$\sum F_Z = F_{15Z1'} + F_{15Z2'} - F_{eq13'} * \sin \beta = 0$$

$$\sum M_{XA12'} = F_{15Z2'} * m_3 * \cos(\theta_{13}') - F_{eq13'} * \sin(\beta) * \frac{m_3}{2} * \cos(\theta_{13}') = 0$$

$$F_{15Y1'} = F_{15X1'} * \frac{\cos(\theta_{13}')}{\sin(\theta_{13}')}$$

$$F_{15Y2'} = F_{15X2'} * \frac{\cos(\theta_{13}')}{\sin(\theta_{13}')}$$

$$F_{15X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq13'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}') * \frac{\sin(\theta_{13}')}{\cos(\theta_{13}')} + \sin(90^\circ - \theta_{13}') \right] \quad (6.4-159)$$

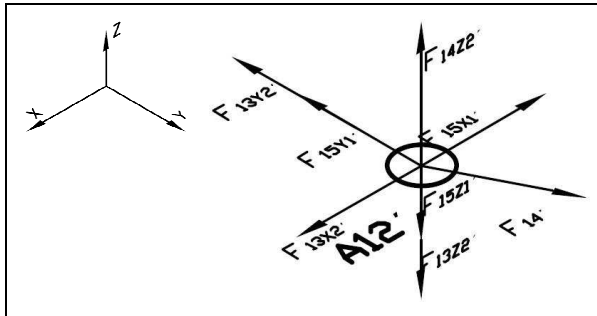
$$F_{15X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq13'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}') * \frac{\sin(\theta_{13}')}{\cos(\theta_{13}')} - \sin(90^\circ - \theta_{13}') \right] \quad (6.4-160)$$

$$F_{15Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq13'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}') - \sin(90^\circ - \theta_{13}') * \frac{\cos(\theta_{13}')}{\sin(\theta_{13}')} \right] \quad (6.4-161)$$

$$F_{15Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq13'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}') + \sin(90^\circ - \theta_{13}') * \frac{\cos(\theta_{13}')}{\sin(\theta_{13}')} \right] \quad (6.4-162)$$

$$F_{15Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq13'} * \sin(\beta) \quad (6.4-163)$$

$$F_{15Z1'} = \frac{1}{2} * F_{eq13'} * \sin(\beta) \quad (6.4-164)$$



### NODO A12':

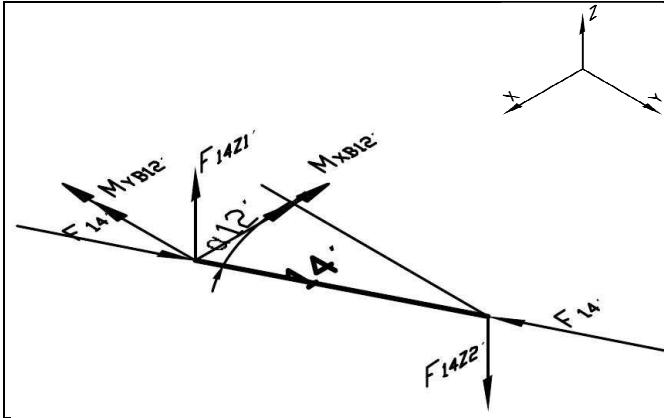
$$\sum F_X = -F_{15X1'} + F_{13X2'} - F_{14'} * \sin \alpha_{12'} = 0$$

$$\sum F_Y = -F_{15Y1'} - F_{13Y2'} + F_{14'} * \cos \alpha_{12'} = 0$$

$$\sum F_Z = -F_{15Z1'} - F_{13Z2'} + F_{14Z2'} = 0$$

$$F_{14'} = \frac{-F_{15X1'} + F_{13X2'}}{\sin \alpha_{12'}} \quad (6.4-165)$$

$$F_{14Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq13'} + F_{eq12'}] \quad (6.4-166)$$



### BARRA 14':

$$\sum F_x = F_{14'x} \sin \alpha_{12'} - F_{14'y} \sin \alpha_{12'} = 0$$

$$\sum F_y = F_{14'x} \cos \alpha_{12'} - F_{14'y} \cos \alpha_{12'} = 0$$

$$\sum F_z = F_{14z1'} - F_{14z2'} = 0$$

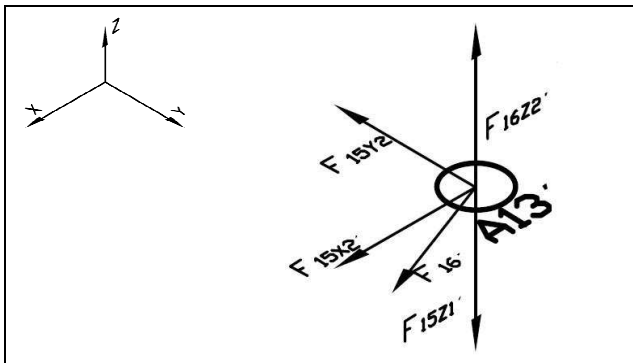
$$\sum M_{xB12'} = -F_{14z2'} \cdot b_2 \cos \alpha_{12'} - M_{xB12'} = 0$$

$$\sum M_{yB12'} = -F_{14z2'} \cdot b_2 \sin \alpha_{12'} - M_{yB12'} = 0$$

$$F_{14z1'} = F_{14z2'} = \frac{1}{2} \sin(\beta) \cdot [F_{eq13'} + F_{eq12'}] \quad (6.4-167)$$

$$M_{xB12'} = -\frac{b_2}{2} \sin(\beta) \cos \alpha_{12'} \cdot [F_{eq13'} + F_{eq12'}] \quad (6.4-168)$$

$$M_{yB12'} = -\frac{b_2}{2} \sin(\beta) \sin \alpha_{12'} \cdot [F_{eq13'} + F_{eq12'}] \quad (6.4-169)$$



### NODO A13':

$$\sum F_x = +F_{15x2'} + F_{16'z} \cos \alpha_{13'} = 0$$

$$\sum F_y = -F_{15y2'} + F_{16'z} \sin \alpha_{13'} = 0$$

$$\sum F_z = -F_{15z2'} + F_{16z2'} = 0$$

$$F_{16'z} = \frac{[-F_{15x2'}]}{\cos \alpha_{13'}} \quad (6.4-181)$$

$$F_{16z2'} = F_{16z2'} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq13'} \cdot \sin(\beta) \quad (6.4-182)$$

BARRA 16':

$$\sum F_X = F_{16'} * \cos \alpha_{13'} - F_{16'} * \cos \alpha_{13'} = 0$$

$$\sum F_Y = F_{16'} * \sin \alpha_{13'} - F_{16'} * \sin \alpha_{13'} = 0$$

$$\sum F_Z = F_{16Z1'} - F_{16Z2'} = 0$$


---


$$\sum M_{XB13'} = -F_{16Z2'} * b_3 * \sin \alpha_{13'} - M_{XB13'} = 0$$

$$\sum M_{YB13'} = +F_{16Z2'} * b_3 * \cos \alpha_{13'} - M_{YB13'} = 0$$

$$F_{16Z1'} = F_{16Z2'} = F_{5Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq13'} * \sin(\beta) \quad (6.4-183)$$

$$M_{XB13'} = -\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{13'} * F_{eq13'} \quad (6.4-184)$$

$$M_{YB13'} = +\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{13'} * F_{eq13'} \quad (6.4-185)$$

PIEZA B11'-C11':

$$\sum F_X = -R_{XC11'} + F_{12'} * \sin \alpha_{11'} = 0$$

$$\sum F_Y = R_{YC11'} - F_{12'} * \cos \alpha_{11'} = 0$$

$$\sum F_Z = R_{ZC11'} - F_{12Z1'} = 0$$


---


$$\sum M_{XC11'} = -F_{12Z1'} * d_2 - M_{XC11'} + M_{XB11'} = 0$$

$$\sum M_{YC11'} = M_{YB11'} - M_{YC11'} = 0$$

$$\sum M_{ZC11'} = -F_{12'} * \sin \alpha_{11'} * d_2 + M_{ZC11'} = 0$$

$$R_{XC11'} = F_{12'} * \sin \alpha_{11'} \quad (6.4-186)$$

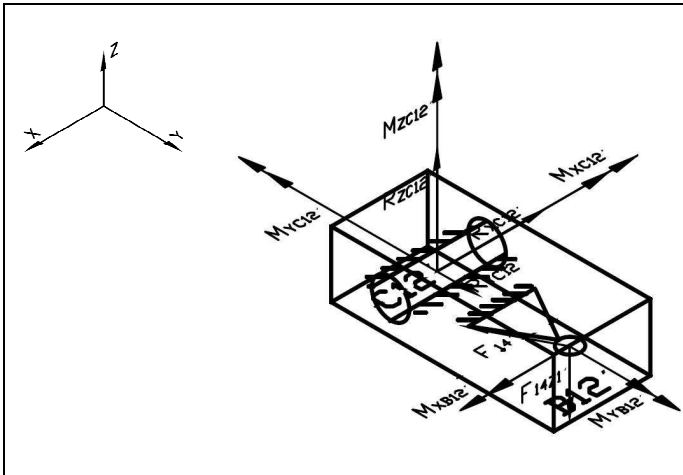
$$R_{YC11'} = F_{12'} * \cos \alpha_{11'} \quad (6.4-187)$$

$$R_{ZC11'} = F_{12Z1'} \quad (6.4-188)$$

$$M_{XC11'} = -F_{12Z1'} * d_2 + M_{XB11'} \quad (6.4-189)$$

$$M_{YC11'} = M_{YB11'} \quad (6.4-190)$$

$$M_{ZC11'} = +F_{12'} * \sin \alpha_{11'} * d_2 \quad (6.4-191)$$



### PIEZA B12'-C12':

$$\sum F_x = -R_{XC12'} + F_{14'} * \sin \alpha_{12'} = 0$$

$$\sum F_y = R_{YC12'} - F_{14'} * \cos \alpha_{12'} = 0$$

$$\sum F_z = R_{ZC12'} - F_{14Z1'} = 0$$

$$\sum M_{XC12'} = -F_{14Z1'} * d_2 - M_{XC12'} + M_{XB12'} = 0$$

$$\sum M_{YC12'} = M_{YB12'} - M_{YC12'} = 0$$

$$\sum M_{ZC12'} = -F_{14'} * \sin \alpha_{12'} * d_2 + M_{ZC12'} = 0$$

$$R_{XC12'} = F_{14'} * \sin \alpha_{12'} \quad (6.4-192)$$

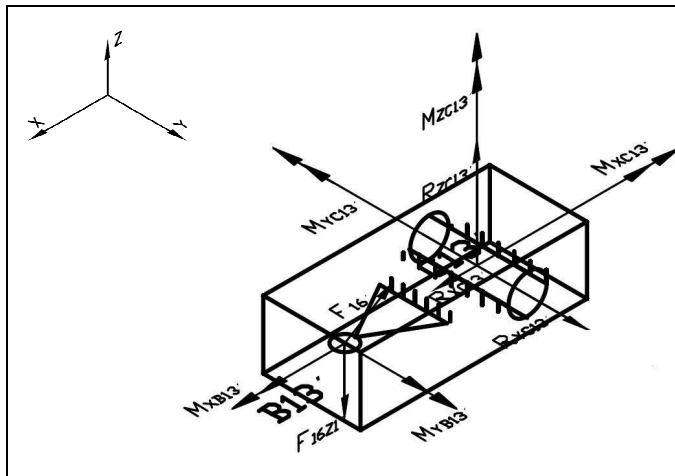
$$R_{YC12'} = F_{14'} * \cos \alpha_{12'} \quad (6.4-193)$$

$$R_{ZC12'} = F_{14Z1'} \quad (6.4-194)$$

$$M_{XC12'} = -F_{14Z1'} * d_2 + M_{XB12'} \quad (6.4-195)$$

$$M_{YC12'} = M_{YB12'} \quad (6.4-196)$$

$$M_{ZC12'} = +F_{14'} * \sin \alpha_{12'} * d_2 \quad (6.4-197)$$



### PIEZA B13'-C13':

$$\sum F_x = +R_{XC13'} - F_{16'} * \cos \alpha_{13'} = 0$$

$$\sum F_y = R_{YC13'} - F_{16'} * \sin \alpha_{13'} = 0$$

$$\sum F_z = R_{ZC13'} - F_{16Z1'} = 0$$

$$\sum M_{XC13'} = -M_{XC13'} + M_{XB13'} = 0$$

$$\sum M_{YC13'} = +F_{16Z1'} * d_2 + M_{YB13'} - M_{YC13'} = 0$$

$$\sum M_{ZC13'} = -F_{16'} * \sin \alpha_{13'} * d_2 + M_{ZC13'} = 0$$

$$R_{XC13'} = F_{16'} * \cos \alpha_{13'} \quad (6.4-198)$$

$$R_{YC13'} = F_{16'} * \sin \alpha_{13'} \quad (6.4-199)$$

$$R_{ZC13'} = F_{16Z1'} \quad (6.4-200)$$

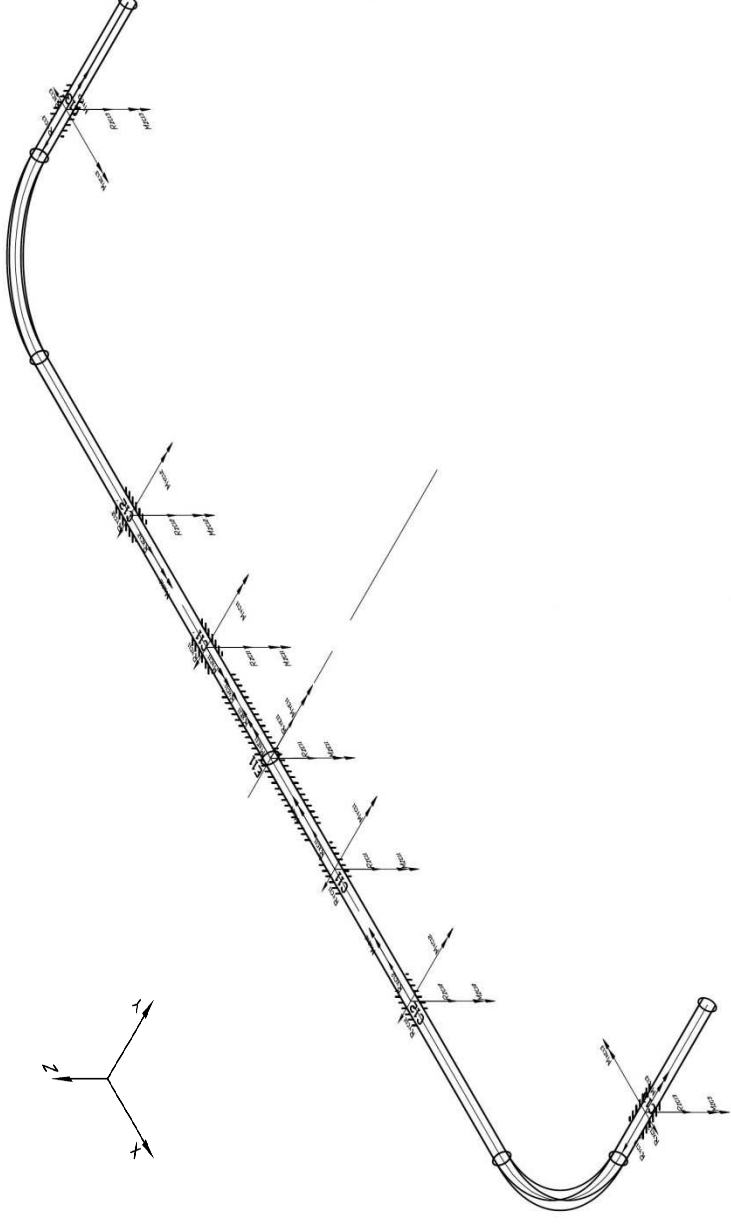
$$M_{XC13'} = M_{XB13'} \quad (6.4-201)$$

$$M_{YC13'} = +F_{16Z1'} * d_2 + M_{YB13'} \quad (6.4-202)$$

$$M_{ZC13'} = +F_{16'} * \sin \alpha_{13'} * d_2 \quad (6.4-203)$$

### 6.3.3 - Cálculo de Fuerzas en Piezas centrales

#### TUBO CURVO:



$$\sum F_x = -R_{x_{C11}} - R_{x_{C12}} + R_{x_{C13}} + R_{x_{C11'}} + R_{x_{C12'}} - R_{x_{C13'}} - R_{x_{E11}} = 0 \quad (6.4-210)$$

$$\sum F_y = -R_{y_{C11}} - R_{y_{C12}} - R_{y_{C13}} - R_{y_{C11'}} - R_{y_{C12'}} - R_{y_{C13'}} + R_{y_{E11}} = 0 \quad (6.4-211)$$

$$\sum F_z = -R_{z_{C11}} - R_{z_{C12}} - R_{z_{C13}} - R_{z_{C11'}} - R_{z_{C12'}} - R_{z_{C13'}} - R_{z_{E11}} = 0 \quad (6.4-212)$$

$$\sum M_{x_{E11}} = -R_{z_{C13}} * y_{C13} - R_{z_{C13'}} * y_{C13'} - M_{x_{C11}} - M_{x_{C12}} - M_{x_{C13}} + M_{x_{C11'}} + M_{x_{C12'}} + M_{x_{C13'}} - M_{x_{E11}} = 0 \quad (6.4-213)$$

$$\sum M_{y_{E11}} = R_{z_{C11}} * x_{C11} + R_{z_{C12}} * x_{C12} + R_{z_{C13}} * x_{C13} - R_{z_{C11'}} * x_{C11'} - R_{z_{C12'}} * x_{C12'} - R_{z_{C13'}} * x_{C13'} + M_{y_{C11}} + M_{y_{C12}} + M_{y_{C13}} + M_{y_{C11'}} + M_{y_{C12'}} + M_{y_{E11}} = 0 \quad (6.4-214)$$

$$\sum M_{z_{E11}} = -R_{y_{C11}} * x_{C11} - R_{y_{C12}} * x_{C12} - R_{y_{C13}} * x_{C13} - R_{y_{C11'}} * x_{C11'} - R_{y_{C12'}} * x_{C12'} - R_{y_{C13'}} * x_{C13'} + R_{y_{C13}} * |x_{C13}| + R_{y_{C12'}} * |x_{C12'}| + R_{y_{C11'}} * |x_{C11'}| - M_{z_{C11}} - M_{z_{C12}} - M_{z_{C13}} - M_{z_{C11'}} - M_{z_{C12'}} - M_{z_{E11}} = 0 \quad (6.4-215)$$

De (6.4-210) se obtiene:

$$R_{x_{E11}} = -R_{x_{C11}} - R_{x_{C12}} + R_{x_{C13}} + R_{x_{C11'}} + R_{x_{C12'}} - R_{x_{C13'}} \quad (6.4-216)$$

De (6.4-211) se obtiene:

$$R_{y_{E11}} = R_{y_{C11}} + R_{y_{C12}} + R_{y_{C13}} + R_{y_{C11'}} + R_{y_{C12'}} + R_{y_{C13'}} \quad (6.4-217)$$

De (6.4-212) se obtiene:

$$R_{z_{E11}} = -R_{z_{C11}} - R_{z_{C12}} - R_{z_{C13}} - R_{z_{C11'}} - R_{z_{C12'}} - R_{z_{C13'}} \quad (6.4-218)$$

De (6.4-213) se obtiene:

$$M_{x_{E11}} = -R_{z_{C13}} * y_{C13} - R_{z_{C13'}} * y_{C13'} - M_{x_{C11}} - M_{x_{C12}} - M_{x_{C13}} + M_{x_{C11'}} + M_{x_{C12'}} + M_{x_{C13'}} \quad (6.4-219)$$

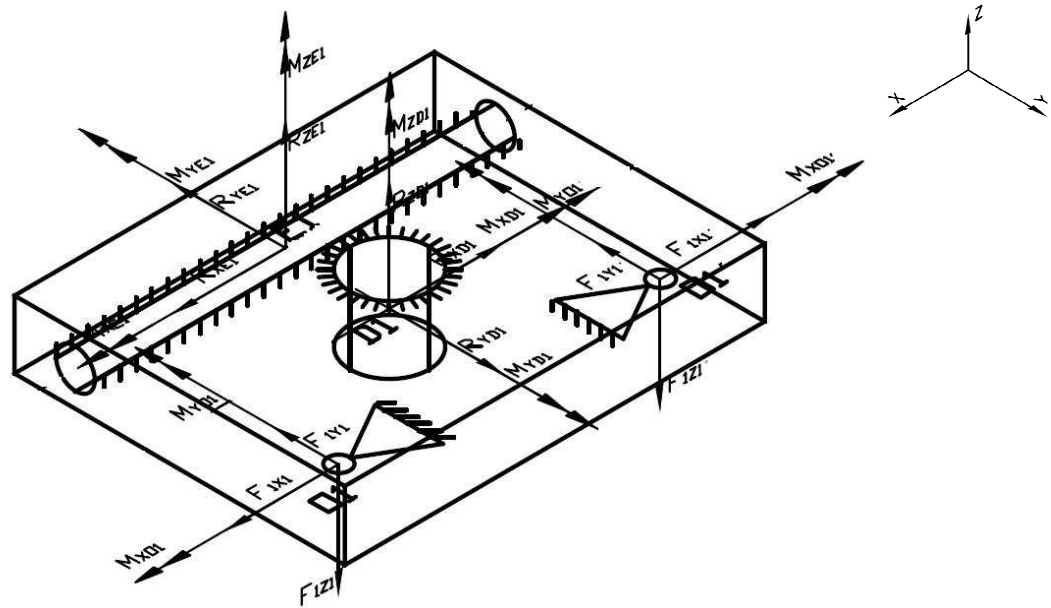
De (6.4-214) se obtiene:

$$M_{y_{E11}} = -R_{z_{C11}} * x_{C11} - R_{z_{C12}} * x_{C12} - R_{z_{C13}} * x_{C13} + R_{z_{C11'}} * x_{C11'} + R_{z_{C12'}} * x_{C12'} + R_{z_{C13'}} * x_{C13'} - M_{y_{C11}} - M_{y_{C12}} - M_{y_{C13}} - M_{y_{C11'}} - M_{y_{C12'}} - M_{y_{C13'}} \quad (6.4-220)$$

De (6.4-215) se obtiene:

$$M_{z_{E11}} = -R_{y_{C11}} * x_{C11} - R_{y_{C12}} * x_{C12} - R_{y_{C13}} * x_{C13} - R_{y_{C11'}} * x_{C11'} - R_{y_{C12'}} * x_{C12'} - R_{y_{C13'}} * x_{C13'} + R_{y_{C13}} * |x_{C13}| + R_{y_{C12'}} * |x_{C12'}| + R_{y_{C11'}} * |x_{C11'}| - M_{z_{C11}} - M_{z_{C12}} - M_{z_{C13}} - M_{z_{C11'}} - M_{z_{C12'}} - M_{z_{C13'}} \quad (6.4-221)$$

**PIEZA 011-011':**



$$(6.4-222) \quad \sum F_X = F_{11X1} - F_{11X1'} - R_{XD11} + R_{XE11} = 0$$

$$(6.4-223) \quad \sum F_Y = -F_{11Y1} - F_{11Y1'} + R_{YD11} - R_{YE11} = 0$$

$$(6.4-224) \quad \sum F_Z = -F_{11Z1} - F_{11Z1'} + R_{ZD11} + R_{ZE11} = 0$$

$$(6.4-225) \quad \sum M_{XE11} = -F_{11Z1} * d_1 - F_{11Z1'} * d_1 + R_{ZD11} * y_{D11} + M_{XO11} - M_{XO11'} - M_{XD11} + M_{XE11} = 0$$

$$(6.4-226) \quad \sum M_{YE11} = F_{11Z1} * x_{O11} - F_{11Z1'} * |x_{O11}'| - M_{YO11} - M_{YO11'} + M_{YD11} - M_{YE11} = 0$$

$$(6.4-227) \quad \sum M_{ZE11} = -F_{11X1} * d_1 - F_{11Y1} * x_{O11} + F_{11X1'} * d_1 + F_{11Y1'} * |x_{O11}'| + R_{XD11} * y_{D11} + M_{ZD11} + M_{ZE11} = 0$$

De (6.4-222) se obtiene:

$$R_{XD11} = F_{11X1} - F_{11X1'} + R_{XE11} \quad (6.4-228)$$

De (6.4-223) se obtiene:

$$R_{YD11} = F_{11Y1} + F_{11Y1'} + R_{YE11} \quad (6.4-229)$$

De (6.4-224) se obtiene:

$$R_{ZD11} = F_{11Z1} + F_{11Z1'} - R_{ZE11} \quad (6.4-230)$$

De (6.4-225) se obtiene:

$$M_{XD11} = -F_{11Z1} * d_1 - F_{11Z1'} * d_1 + R_{ZD11} * y_{D11} + M_{XO11} - M_{XO11'} + M_{XE11} \quad (6.4-231)$$

De (6.4-226) se obtiene:

$$M_{YD11} = -F_{11Z1} * x_{O11} + F_{11Z1'} * |x_{O11}'| + M_{YO11} + M_{YO11'} + M_{YE11} \quad (6.4-232)$$

De (6.4-227) se obtiene:

$$M_{ZD11} = F_{11X1} * d_1 + F_{11Y1} * x_{O11} - F_{11X1'} * d_1 - F_{11Y1'} * |x_{O11}'| - R_{XD11} * y_{D11} - M_{ZE11} \quad (6.4-233)$$

## 6.5 - ANÁLISIS ESTÁTICO DE COSTILLA SUPERIOR

(Ver folio 5 del plano EIM-01-06-M-001.dwg en ANEXO C)

### 6.5.1 - Cálculo De Fuerzas Lado Derecho

	<b>BARRA 21:</b>
	<p>(6.5-1) <math>\sum F_X = -F_{21X1} + F_{21X2} + F_{eq21} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{21}) = 0</math></p> <p>(6.5-2) <math>\sum F_Y = F_{21Y1} + F_{21Y2} - F_{eq21} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{21}) = 0</math></p> <p>(6.5-3) <math>\sum F_Z = F_{21Z1} + F_{21Z2} - F_{eq21} * \sin \beta = 0</math></p> <p>(6.5-4) <math>\sum M_{XO21} = F_{21Z2} * m_1 * \cos(\theta_{21}) - F_{eq21} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \cos(\theta_{21}) - M_{XO21} = 0</math></p> <p>(6.5-5) <math>\sum M_{YO21} = -F_{21Z2} * m_1 * \sin(\theta_{21}) + F_{eq21} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \sin(\theta_{21}) + M_{YO21} = 0</math></p> <p>(6.5-6) <math>F_{21Y1} = F_{21X1} * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})}</math></p> <p>(6.5-7) <math>F_{21Y2} = F_{21X2} * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})}</math></p>

De (6.5-2), (6.5-6) y (6.5-7) se obtiene: (6.5-8)

$$0 = F_{21Y1} + F_{21Y2} - F_{eq21} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{21}) = F_{21X1} * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})} + F_{21X2} * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})} - F_{eq21} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{21})$$

De (6.5-1) se obtiene:

$$F_{21X1} = F_{21X2} + F_{eq21} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{21}) \quad (6.5-9)$$

De (6.5-8) y (6.5-9) se obtiene:

$$0 = [F_{21X2} + F_{eq21} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{21})] * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})} + F_{21X2} * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})} - F_{eq21} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{21}) = 2 * F_{21X2} * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})} + F_{eq21} * \cos(\beta) * [\sin(90^\circ - \theta_{21}) * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})} - \cos(90^\circ - \theta_{21})]$$

$$F_{21X2} = \frac{1}{2} * \frac{\sin(\theta_{21})}{\cos(\theta_{21})} * F_{eq21} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_{21}) - \sin(90^\circ - \theta_{21}) * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})}] = \frac{1}{2} * F_{eq21} * \cos(\beta) * [\cos(90^\circ - \theta_{21}) * \frac{\sin(\theta_{21})}{\cos(\theta_{21})} - \sin(90^\circ - \theta_{21})] \quad (6.5-10)$$

De (6.5-9) y (6.5-10) se obtiene:

$$F_{21X1} = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq21} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}) * \frac{\sin(\theta_{21})}{\cos(\theta_{21})} - \sin(90^\circ - \theta_{21}) \right] \right\} + F_{eq21} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{21}) = \frac{1}{2} * F_{eq21} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}) * \frac{\sin(\theta_{21})}{\cos(\theta_{21})} + \sin(90^\circ - \theta_{21}) \right] \quad (6.5-11)$$

De (6.5-6) y (6.5-11) se obtiene:

$$F_{21Y1} = F_{21X1} * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})} = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq21} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}) * \frac{\sin(\theta_{21})}{\cos(\theta_{21})} + \sin(90^\circ - \theta_{21}) \right] \right\} * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})} = \frac{1}{2} * F_{eq21} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}) + \sin(90^\circ - \theta_{21}) * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})} \right] \quad (6.5-12)$$

De (6.5-7) y (6.5-10) se obtiene:

$$F_{21Y2} = F_{21X2} * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})} = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq21} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}) * \frac{\sin(\theta_{21})}{\cos(\theta_{21})} - \sin(90^\circ - \theta_{21}) \right] \right\} * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})} = \frac{1}{2} * F_{eq21} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}) - \sin(90^\circ - \theta_{21}) * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})} \right] \quad (6.5-13)$$

De (6.5-3) y suponiendo que  $F_{21Z1} = F_{21Z2}$ , se obtiene:

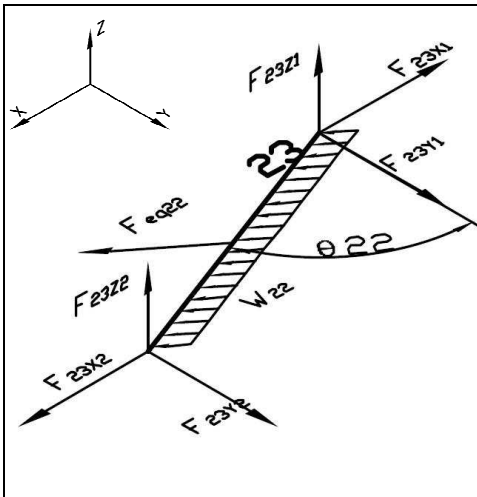
$$F_{21Z1} = F_{21Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq21} * \sin \beta \quad (6.5-14)$$

De (6.5-4) y (6.5-14), se obtiene:

$$M_{X021} = F_{21Z2} * m_1 * \cos(\theta_{21}) - F_{eq21} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \cos(\theta_{21}) = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq21} * \sin \beta \right\} * m_1 * \cos(\theta_{21}) - F_{eq21} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \cos(\theta_{21}) = 0 \quad (6.5-15)$$

De (6.5-5) y (6.5-14), se obtiene:

$$M_{Y021} = F_{21Z2} * m_1 * \sin(\theta_{21}) - F_{eq21} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \sin(\theta_{21}) = \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq21} * \sin \beta \right\} * m_1 * \sin(\theta_{21}) - F_{eq21} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \sin(\theta_{21}) = 0 \quad (6.5-16)$$



#### BARRA 23:

$$(6.5-17) \quad \sum F_X = -F_{23X1} + F_{23X2} + F_{eq22} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{22}) = 0$$

$$(6.5-18) \quad \sum F_Y = F_{23Y1} + F_{23Y2} - F_{eq22} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{22}) = 0$$

$$(6.5-19) \quad \sum F_Z = F_{23Z1} + F_{23Z2} - F_{eq22} * \sin \beta = 0$$

$$(6.5-20) \quad \sum M_{XA21} = F_{23Z2} * m_2 * \cos(\theta_{22}) - F_{eq22} * \sin(\beta) * \frac{m_2}{2} * \cos(\theta_{22}) = 0$$

$$(6.5-21) \quad F_{23Y1} = F_{23X1} * \frac{\cos(\theta_{22})}{\sin(\theta_{22})}$$

$$(6.5-22) \quad F_{23Y2} = F_{23X2} * \frac{\cos(\theta_{22})}{\sin(\theta_{22})}$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 21, obteniéndose:

$$F_{23X2} = \frac{1}{2} * F_{eq22} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22}) * \frac{\sin(\theta_{22})}{\cos(\theta_{22})} - \sin(90^\circ - \theta_{22}) \right] \quad (6.5-23)$$

$$F_{23X1} = \frac{1}{2} * F_{eq22} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22}) * \frac{\sin(\theta_{22})}{\cos(\theta_{22})} + \sin(90^\circ - \theta_{22}) \right] \quad (6.5-24)$$

$$F_{23Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq22} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22}) + \sin(90^\circ - \theta_{22}) * \frac{\cos(\theta_{22})}{\sin(\theta_{22})} \right] \quad (6.5-25)$$

$$F_{23Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq22} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22}) - \sin(90^\circ - \theta_{22}) * \frac{\cos(\theta_{22})}{\sin(\theta_{22})} \right] \quad (6.5-26)$$

De (6.5-20) se obtiene:

$$F_{23Z2} = \left[ F_{eq22} * \sin(\beta) * \frac{m_2}{2} * \cos(\theta_{22}) \right] / [m_2 * \cos(\theta_{22})] = \frac{1}{2} * F_{eq22} * \sin(\beta) \quad (6.5-27)$$

De (6.5-19) y (6.5-27) se obtiene:

$$F_{23Z1} = - \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq22} * \sin(\beta) \right\} + F_{eq22} * \sin \beta = \frac{1}{2} * F_{eq22} * \sin(\beta) \quad (6.5-28)$$

	<p><b>NODO A21:</b></p> <p>(6.5-29) <math>\sum F_X = F_{23X1} - F_{21X2} + F_{22} * \sin \alpha_{21} = 0</math></p> <p><math>\sum F_Y = -F_{23Y1} - F_{21Y2} + F_{22} * \cos \alpha_{21} = 0</math></p> <p>(6.5-30) <math>\sum F_Z = -F_{23Z1} - F_{21Z2} + F_{22Z2} = 0</math></p>
--	---

De (6.5-29), (6.5-24) y (6.5-10) se obtiene:

$$F_{22} = \frac{-F_{23X1} + F_{21X2}}{\sin \alpha_{21}} \quad (6.5-31)$$

De (6.5-30), (6.5-28) y (6.5-14) se obtiene:

$$F_{22Z2} = F_{23Z1} + F_{21Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq22} + F_{eq21}] \quad (6.5-32)$$

	<p><b>BARRA 22:</b></p> <p><math>\sum F_X = F_{22} * \sin \alpha_{21} - F_{22} * \sin \alpha_{21} = 0</math></p> <p><math>\sum F_Y = F_{22} * \cos \alpha_{21} - F_{22} * \cos \alpha_{21} = 0</math></p> <p>(6.5-33) <math>\sum F_Z = F_{22Z1} - F_{22Z2} = 0</math></p> <hr/> <p>(6.5-34) <math>\sum M_{XB21} = -F_{22Z2} * b_1 * \cos \alpha_{21} + M_{XB21} = 0</math></p> <p>(6.5-35) <math>\sum M_{YB21} = F_{22Z2} * b_1 * \sin \alpha_{21} - M_{YB21} = 0</math></p>
--	--

De (6.5-33) y (6.5-32) se obtiene:

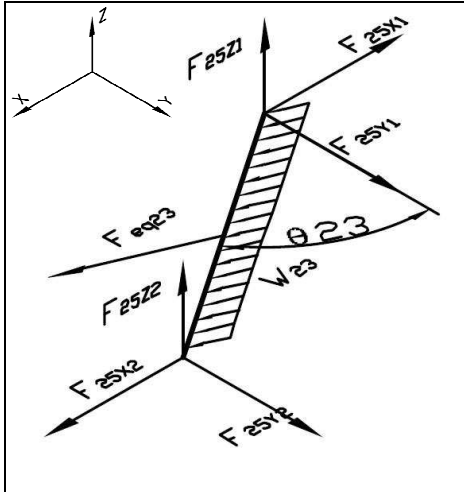
$$F_{22Z1} = F_{22Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq22} + F_{eq21}] \quad (6.5-36)$$

De (6.5-34) y (6.5-32) se obtiene:

$$M_{XB21} = F_{22Z2} * b_1 * \cos \alpha_{21} = \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{21} * [F_{eq22} + F_{eq21}] \quad (6.5-37)$$

De (6.5-35) y (6.5-32) se obtiene:

$$M_{YB21} = F_{22Z2} * b_1 * \sin \alpha_{21} = \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{21} * [F_{eq22} + F_{eq21}] \quad (6.5-38)$$



### BARRA 25:

$$(6.5-39) \quad \sum F_X = -F_{25X1} + F_{25X2} + F_{eq23} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{23}) = 0$$

$$(6.5-40) \quad \sum F_Y = F_{25Y1} + F_{25Y2} - F_{eq23} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{23}) = 0$$

$$(6.5-41) \quad \sum F_Z = F_{25Z1} + F_{25Z2} - F_{eq23} * \sin \beta = 0$$

$$(6.5-42) \quad \sum M_{XA22} = F_{25Z2} * m_3 * \cos(\theta_{23}) - F_{eq23} * \sin(\beta) * \frac{m_3}{2} * \cos(\theta_{23}) = 0$$

$$(6.5-43) \quad F_{25Y1} = F_{25X1} * \frac{\cos(\theta_{23})}{\sin(\theta_{23})}$$

$$(6.5-44) \quad F_{25Y2} = F_{25X2} * \frac{\cos(\theta_{23})}{\sin(\theta_{23})}$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 23, obteniéndose:

$$F_{25X2} = \frac{1}{2} * F_{eq23} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23}) * \frac{\sin(\theta_{23})}{\cos(\theta_{23})} - \sin(90^\circ - \theta_{23}) \right] \quad (6.5-45)$$

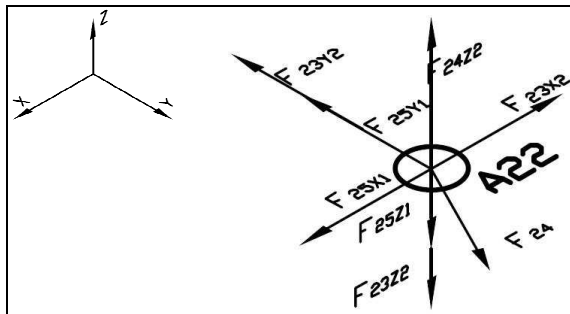
$$F_{25X1} = \frac{1}{2} * F_{eq23} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23}) * \frac{\sin(\theta_{23})}{\cos(\theta_{23})} + \sin(90^\circ - \theta_{23}) \right] \quad (6.5-46)$$

$$F_{25Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq23} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23}) + \sin(90^\circ - \theta_{23}) * \frac{\cos(\theta_{23})}{\sin(\theta_{23})} \right] \quad (6.5-47)$$

$$F_{25Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq23} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23}) - \sin(90^\circ - \theta_{23}) * \frac{\cos(\theta_{23})}{\sin(\theta_{23})} \right] \quad (6.5-48)$$

$$F_{25Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq23} * \sin(\beta) \quad (6.5-49)$$

$$F_{25Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq23} * \sin(\beta) \quad (6.5-50)$$



### NODO A22:

$$(6.5-51) \quad \sum F_X = F_{25X1} - F_{23X2} + F_{24} * \sin \alpha_{22} = 0$$

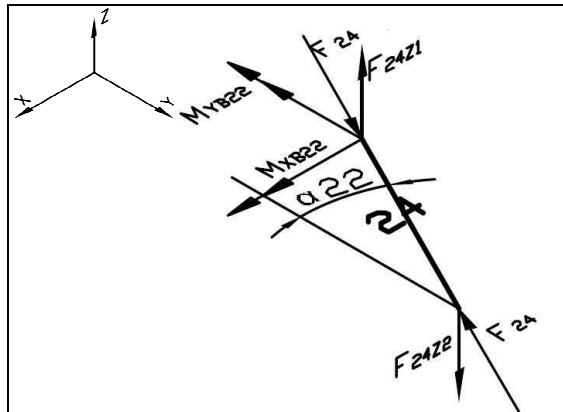
$$\sum F_Y = -F_{25Y1} - F_{23Y2} + F_{24} * \cos \alpha_{22} = 0$$

$$(6.5-52) \quad \sum F_Z = -F_{25Z1} - F_{23Z2} + F_{24Z2} = 0$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para NODO A21, obteniéndose:

$$F_{24} = \frac{\frac{1}{2} * F_{eq22} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22}) * \frac{\sin(\theta_{22})}{\cos(\theta_{22})} - \sin(90^\circ - \theta_{22}) \right] - \frac{1}{2} * F_{eq23} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23}) * \frac{\sin(\theta_{23})}{\cos(\theta_{23})} + \sin(90^\circ - \theta_{23}) \right]}{\sin \alpha_{22}} \quad (6.5-53)$$

$$F_{24Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq23} + F_{eq22}] \quad (6.5-54)$$



BARRA 24:

$$\sum F_X = F_{24} * \sin \alpha_{22} - F_{24} * \sin \alpha_{22} = 0$$

$$\sum F_Y = F_{24} * \cos \alpha_{22} - F_{24} * \cos \alpha_{22} = 0$$

$$(6.5-55) \quad \sum F_Z = F_{24Z1} - F_{24Z2} = 0$$

$$(6.5-56) \quad \sum M_{XB22} = -F_{24Z2} * b_2 * \cos \alpha_{22} + M_{XB22} = 0$$

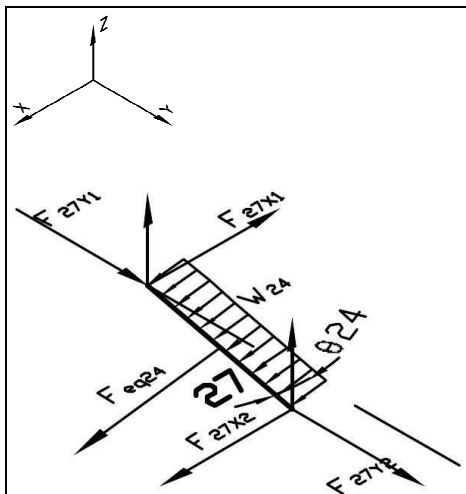
$$(6.5-57) \quad \sum M_{YB22} = F_{24Z2} * b_2 * \sin \alpha_{22} - M_{YB22} = 0$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 22, obteniéndose:

$$F_{24Z1} = F_{24Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq23} + F_{eq22}] \quad (6.5-58)$$

$$M_{XB22} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{22} * [F_{eq23} + F_{eq22}] \quad (6.5-59)$$

$$M_{YB22} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{22} * [F_{eq23} + F_{eq22}] \quad (6.5-60)$$



BARRA 27:

$$(6.5-61) \quad \sum F_X = -F_{27X1} + F_{27X2} + F_{eq24} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{24}) = 0$$

$$(6.5-62) \quad \sum F_Y = F_{27Y1} + F_{27Y2} - F_{eq24} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{24}) = 0$$

$$(6.5-63) \quad \sum F_Z = F_{27Z1} + F_{27Z2} - F_{eq24} * \sin \beta = 0$$


---


$$(6.5-64) \quad \sum M_{XA23} = F_{27Z2} * m_4 * \cos(\theta_{24}) - F_{eq24} * \sin(\beta) * \frac{m_4}{2} * \cos(\theta_{24}) = 0$$


---


$$(6.5-65) \quad F_{27Y1} = F_{27X1} * \frac{\cos(\theta_{24})}{\sin(\theta_{24})}$$

$$(6.5-66) \quad F_{27Y2} = F_{27X2} * \frac{\cos(\theta_{24})}{\sin(\theta_{24})}$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 23, obteniéndose:

$$F_{27X2} = \frac{1}{2} * F_{eq24} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24}) * \frac{\sin(\theta_{24})}{\cos(\theta_{24})} - \sin(90^\circ - \theta_{24}) \right] \quad (6.5-67)$$

$$F_{27X1} = \frac{1}{2} * F_{eq24} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24}) * \frac{\sin(\theta_{24})}{\cos(\theta_{24})} + \sin(90^\circ - \theta_{24}) \right] \quad (6.5-68)$$

$$F_{27Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq24} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24}) + \sin(90^\circ - \theta_{24}) * \frac{\cos(\theta_{24})}{\sin(\theta_{24})} \right] \quad (6.5-69)$$

$$F_{27Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq24} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24}) - \sin(90^\circ - \theta_{24}) * \frac{\cos(\theta_{24})}{\sin(\theta_{24})} \right] \quad (6.5-70)$$

$$F_{27Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq24} * \sin(\beta) \quad (6.5-71)$$

$$F_{27Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq24} * \sin(\beta) \quad (6.5-72)$$

	<p><b>NODO A23:</b></p> <p>(6.5-73) <math>\sum F_X = F_{27X1} - F_{25X2} - F_{26} \cdot \cos \alpha_{23} = 0</math></p> <p><math>\sum F_Y = -F_{27Y1} - F_{25Y2} + F_{26} \cdot \sin \alpha_{23} = 0</math></p> <p>(6.5-74) <math>\sum F_Z = -F_{27Z1} - F_{25Z2} + F_{26Z2} = 0</math></p>
--	---

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para NODO A21, obteniéndose:

$$F_{26} = \frac{[+F_{27X1} - F_{25X2}]}{\cos \alpha_{23}} \quad (6.5-75)$$

$$F_{26Z2} = \frac{1}{2} \cdot \sin(\beta) \cdot [F_{eq24} + F_{eq23}] \quad (6.5-76)$$

	<p><b>BARRA 26:</b></p> <p><math>\sum F_X = F_{26} \cdot \cos \alpha_{23} - F_{26} \cdot \cos \alpha_{23} = 0</math></p> <p><math>\sum F_Y = F_{26} \cdot \sin \alpha_{23} - F_{26} \cdot \sin \alpha_{23} = 0</math></p> <p>(6.5-77) <math>\sum F_Z = F_{26Z1} - F_{26Z2} = 0</math></p> <hr/> <p>(6.5-78) <math>\sum M_{XB23} = -F_{26Z2} \cdot b_3 \cdot \sin \alpha_{23} + M_{XB23} = 0</math></p> <p>(6.5-79) <math>\sum M_{YB23} = -F_{26Z2} \cdot b_3 \cdot \cos \alpha_{23} - M_{YB23} = 0</math></p>
--	---

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 22, obteniéndose:

$$F_{26Z1} = F_{26Z2} = \frac{1}{2} \cdot \sin(\beta) \cdot [F_{eq24} + F_{eq23}] \quad (6.5-80)$$

$$M_{XB23} = \frac{b_3}{2} \cdot \sin(\beta) \cdot \sin \alpha_{23} \cdot [F_{eq24} + F_{eq23}] \quad (6.5-81)$$

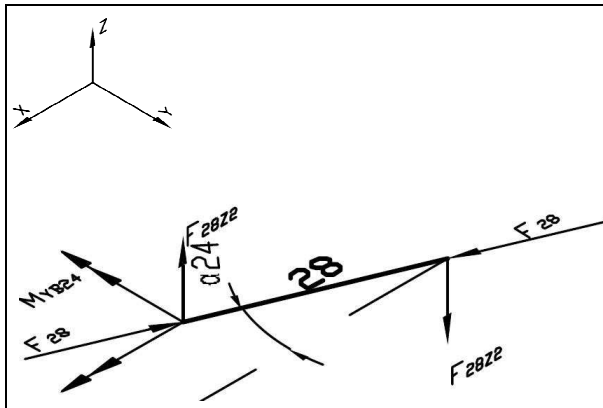
$$M_{YB23} = -\frac{b_3}{2} \cdot \sin(\beta) \cdot \cos \alpha_{23} \cdot [F_{eq24} + F_{eq23}] \quad (6.5-82)$$

	<p><b>NODO A24:</b></p> <p>(6.5-83) <math>\sum F_X = -F_{27X2} - F_{28} \cdot \cos \alpha_{24} = 0</math></p> <p><math>\sum F_Y = -F_{27Y2} + F_{28} \cdot \sin \alpha_{24} = 0</math></p> <p>(6.5-84) <math>\sum F_Z = -F_{27Z2} + F_{28Z2} = 0</math></p>
--	---

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para NODO A21, obteniéndose:

$$F_{28} = \frac{[-F_{27X2}]}{\cos \alpha_4} \quad (6.5-85)$$

$$F_{28Z2} = F_{27Z2} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq24} \cdot \sin(\beta) \quad (6.5-86)$$



### BARRA 28:

$$\sum F_X = F_{28} * \cos \alpha_{24} - F_{28} * \cos \alpha_{24} = 0$$

$$\sum F_Y = F_{28} * \sin \alpha_{24} - F_{28} * \sin \alpha_{24} = 0$$

$$(6.5-87) \quad \sum F_Z = F_{28Z1} - F_{28Z2} = 0$$

$$(6.5-88) \quad \sum M_{XB24} = -F_{28Z2} * b_4 * \sin \alpha_{24} + M_{XB24} = 0$$

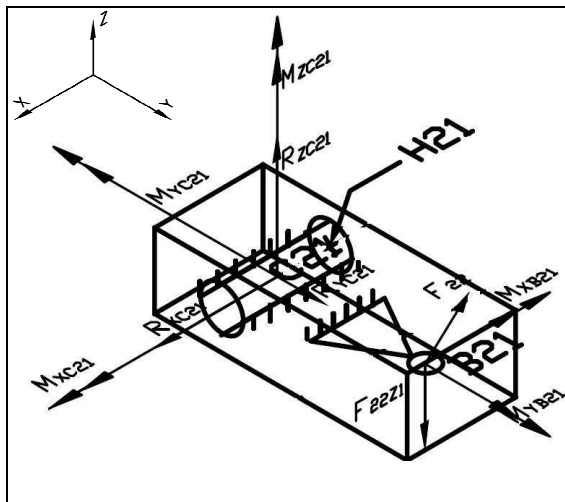
$$(6.5-89) \quad \sum M_{YB24} = -F_{28Z2} * b_4 * \cos \alpha_{24} - M_{YB24} = 0$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para BARRA 22, obteniéndose:

$$F_{28Z1} = F_{28Z2} = F_{27Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq24} * \sin(\beta) \quad (6.5-90)$$

$$M_{XB24} = \frac{b_4}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{24} * F_{eq24} \quad (6.5-91)$$

$$M_{YB24} = -\frac{b_4}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{24} * F_{eq24} \quad (6.5-92)$$



### PIEZA B21-C21:

$$(6.5-93) \quad \sum F_X = R_{XC21} - F_{22} * \sin \alpha_{21} = 0$$

$$(6.5-94) \quad \sum F_Y = R_{YC21} - F_{22} * \cos \alpha_{21} = 0$$

$$(6.5-95) \quad \sum F_Z = R_{ZC21} - F_{22Z1} = 0$$

$$(6.5-96) \quad \sum M_{XC21} = -F_{22Z1} * d_2 + M_{XC21} - M_{XB21} = 0$$

$$(6.5-97) \quad \sum M_{YC21} = M_{YB21} - M_{YC21} = 0$$

$$(6.5-98) \quad \sum M_{ZC21} = F_{22} * \sin \alpha_{21} * d_2 + M_{ZC21} = 0$$

De (6.5-93) y (6.5-31) se obtiene:

$$R_{XC21} = F_{22} * \sin \alpha_{21} \quad (6.5-99)$$

De (6.5-94) y (6.5-31) se obtiene:

$$R_{YC21} = F_{22} * \cos \alpha_{21} \quad (6.5-100)$$

De (6.5-95) y (6.5-36) se obtiene:

$$R_{ZC21} = F_{22Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq22} + F_{eq21}] \quad (6.5-101)$$

De (6.5-96), (6.5-36) y (6.5-37) se obtiene:

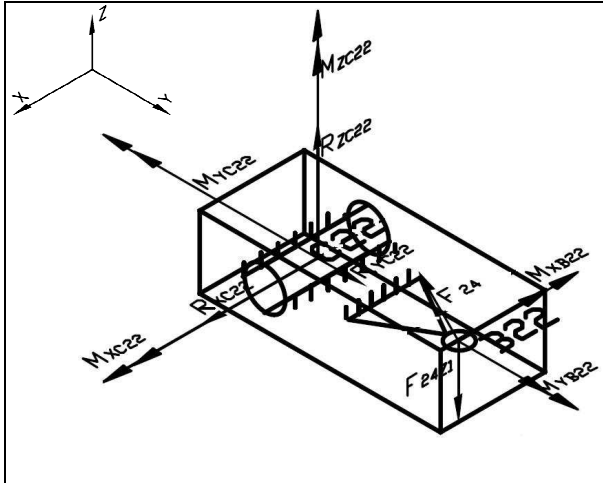
$$M_{XC21} = F_{22Z1} * d_2 + M_{XB21} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq22} + F_{eq21}] * [d_2 + b_1 * \cos \alpha_{21}] \quad (6.5-102)$$

De (6.5-97) y (6.5-38) se obtiene:

$$M_{YC21} = M_{YB21} = \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{21} * [F_{eq22} + F_{eq21}] \quad (6.5-103)$$

De (6.5-98) y (6.5-31) se obtiene:

$$M_{ZC21} = -F_{22} * \sin \alpha_{21} * d_2 \quad (6.5-104)$$



**PIEZA B22-C22:**

$$(6.5-105) \quad \sum F_x = R_{xC22} - F_{24} * \sin \alpha_{22} = 0$$

$$(6.5-106) \quad \sum F_y = R_{yC22} - F_{24} * \cos \alpha_{22} = 0$$

$$(6.5-107) \quad \sum F_z = R_{zC22} - F_{24Z1} = 0$$

$$(6.5-108) \quad \sum M_{xC22} = -F_{24Z1} * d_2 + M_{xC22} - M_{xB22} = 0$$

$$(6.5-109) \quad \sum M_{yC22} = M_{yB22} - M_{yC22} = 0$$

$$(6.5-110) \quad \sum M_{zC22} = F_{24} * \sin \alpha_{22} * d_2 + M_{zC22} = 0$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para PIEZA B21-C21, obteniéndose:

$$R_{xC22} = F_{24} * \sin \alpha_{22} \quad (6.5-111)$$

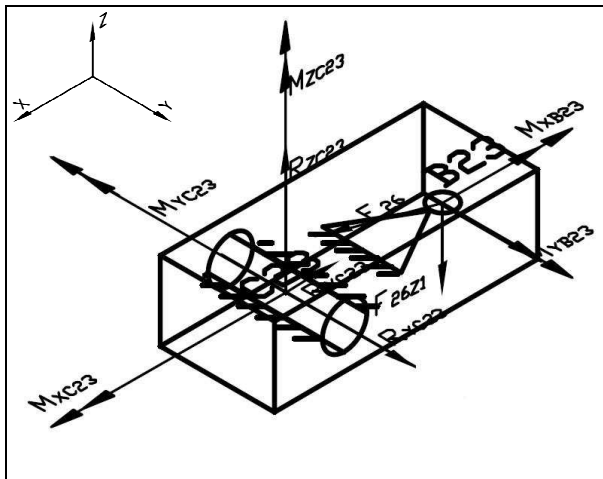
$$R_{yC22} = F_{24} * \cos \alpha_{22} \quad (6.5-112)$$

$$R_{zC22} = F_{24Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq23} + F_{eq22}] \quad (6.5-113)$$

$$M_{xC22} = F_{24Z1} * d_2 + M_{xB22} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq23} + F_{eq22}] * [d_2 + b_2 * \cos \alpha_{22}] \quad (6.5-114)$$

$$M_{yC22} = M_{yB22} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{22} * [F_{eq23} + F_{eq22}] \quad (6.5-115)$$

$$M_{zC22} = -F_{24} * \sin \alpha_{22} * d_2 \quad (6.5-116)$$



**PIEZA B23-C23:**

$$(6.5-117) \quad \sum F_x = -R_{xC23} + F_{26} * \cos \alpha_{23} = 0$$

$$(6.5-118) \quad \sum F_y = R_{yC23} - F_{26} * \sin \alpha_{23} = 0$$

$$(6.5-119) \quad \sum F_z = R_{zC23} - F_{26Z1} = 0$$

$$(6.5-120) \quad \sum M_{xC23} = M_{xC23} - M_{xB23} = 0$$

$$(6.5-121) \quad \sum M_{yC23} = -F_{26Z1} * d_2 + M_{yB23} - M_{yC23} = 0$$

$$(6.5-122) \quad \sum M_{zC23} = F_{26} * \sin \alpha_{23} * d_2 + M_{zC23} = 0$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para PIEZA B21-C21, obteniéndose:

$$R_{xC23} = F_{26} * \cos \alpha_{23} \quad (6.5-123)$$

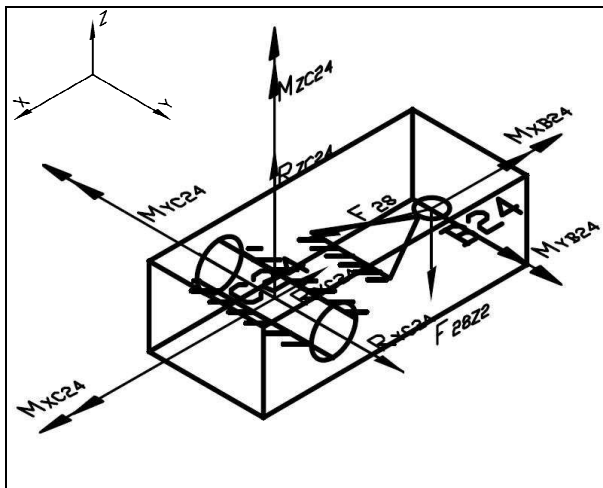
$$R_{yC23} = F_{26} * \sin \alpha_{23} \quad (6.5-124)$$

$$R_{zC23} = F_{26Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq24} + F_{eq23}] \quad (6.5-125)$$

$$M_{xC23} = M_{xB23} \quad (6.5-126)$$

$$M_{yC23} = -F_{26Z1} * d_2 + M_{yB23} \quad (6.5-127)$$

$$M_{zC23} = -F_{26} * \sin \alpha_{23} * d_2 \quad (6.5-128)$$



### PIEZA B24-C24:

$$(6.5-129) \quad \sum F_X = -R_{XC24} + F_{28} * \cos \alpha_{24} = 0$$

$$(6.5-130) \quad \sum F_Y = R_{YC24} - F_{28} * \sin \alpha_{24} = 0$$

$$(6.5-131) \quad \sum F_Z = R_{ZC24} - F_{28Z1} = 0$$

$$(6.5-132) \quad \sum M_{XC24} = M_{XC24} - M_{XB24} = 0$$

$$(6.5-133) \quad \sum M_{YC24} = -F_{28Z1} * d_2 + M_{YB24} - M_{YC24} = 0$$

$$(6.5-134) \quad \sum M_{ZC24} = F_{28} * \sin \alpha_{24} * d_2 + M_{ZC24} = 0$$

El desarrollo de fórmulas sigue los mismos pasos que para PIEZA B23-C23, obteniéndose:

$$R_{XC24} = F_{28} * \cos \alpha_{24} \quad (6.5-135)$$

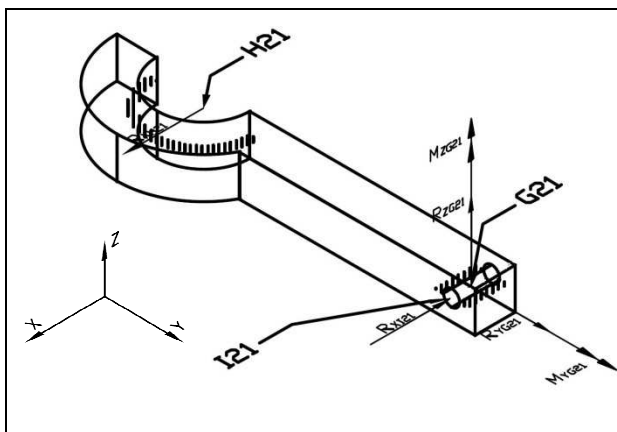
$$R_{YC24} = F_{28} * \sin \alpha_{24} \quad (6.5-136)$$

$$R_{ZC24} = F_{28Z1} \quad (6.5-137)$$

$$M_{XC24} = M_{XB24} \quad (6.5-138)$$

$$M_{YC24} = -F_{28Z1} * d_2 + M_{YB24} \quad (6.5-139)$$

$$M_{ZC24} = -F_{28} * \sin \alpha_{24} * d_2 \quad (6.5-140)$$



### TRABA G21-H21:

$$(6.5-210) \quad \sum F_X = +R_{XH21} - R_{XI21} = 0$$

$$(6.5-211) \quad \sum F_Y = R_{YG21} = 0$$

$$(6.5-212) \quad \sum F_Z = R_{ZG21} = 0$$

$$(6.5-213) \quad \sum M_{YH21} = M_{YG21} - R_{ZG21} * |x_{G21} - x_{H21}| = 0$$

$$(6.5-214) \quad \sum M_{ZH21} = M_{ZG21} + R_{YG21} * |x_{G21} - x_{H21}| + R_{XI21} * |y_{H21} - y_{G21}| = 0$$

De (6.5-210) y (6.2-8) se obtiene:

$$R_{XI21} = R_{XH21} = F_1 = 2 * P * \sin(\Delta\alpha) \quad (6.5-215)$$

De (6.5-211) se obtiene:

$$R_{YG21} = 0 \quad (6.5-216)$$

De (6.5-212) se obtiene:

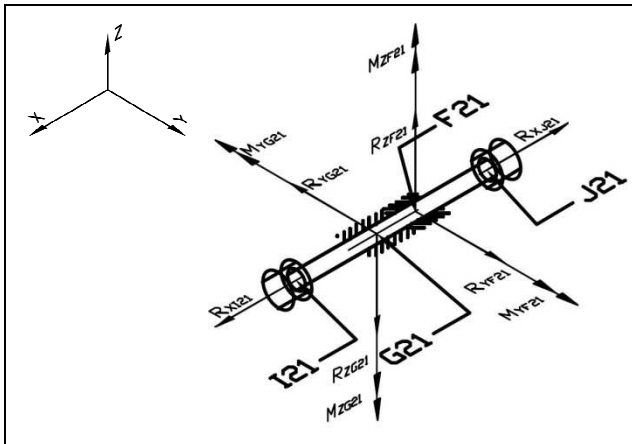
$$R_{ZG21} = 0 \quad (6.5-217)$$

De (6.5-213) y (6.5-217) se obtiene:

$$M_{YG21} = +R_{ZG21} * |x_{G21} - x_{H21}| = 0 \quad (6.5-218)$$

De (6.5-214) y (6.5-216) se obtiene:

$$M_{ZG21} = -R_{YG21} * |x_{G21} - x_{H21}| - R_{XI21} * |y_{H21} - y_{G21}| = -R_{XI21} * |y_{H21} - y_{G21}| \quad (6.5-219)$$



**PERNO G21-H21:**

$$(6.5-220) \quad \sum F_X = -R_{XJ21} + R_{XF21} = 0$$

$$(6.5-221) \quad \sum F_Y = R_{YF21} - R_{YG21} = 0$$

$$(6.5-222) \quad \sum F_Z = R_{ZF21} - R_{ZG21} = 0$$

$$(6.5-223) \quad \sum M_{YG21} = M_{YF21} - M_{YG21} + R_{ZF21} * |x_{G21} - x_{F21}| = 0$$

$$(6.5-224) \quad \sum M_{ZG21} = M_{ZF21} - M_{ZG21} - R_{YF21} * |x_{G21} - x_{F21}| = 0$$

De (6.5-220) se obtiene:

$$R_{XJ21} = R_{XF21} \quad (6.5-225)$$

De (6.5-221) y (6.5-216) se obtiene:

$$R_{YF21} = R_{YG21} = 0 \quad (6.5-226)$$

De (6.5-222) y (6.5-217) se obtiene:

$$R_{ZF21} = R_{ZG21} = 0 \quad (6.5-227)$$

De (6.5-223), (6.5-218) y (6.5-227) se obtiene:

$$M_{YF21} = M_{YG21} - R_{ZF21} * |x_{G21} - x_{F21}| = 0 \quad (6.5-228)$$

De (6.5-224), (6.5-219) y (6.5-226) se obtiene:

$$M_{ZF21} = M_{ZG21} + R_{YF21} * |x_{G21} - x_{F21}| = M_{ZG21} \quad (6.5-229)$$

### 6.5.2 - Cálculo De Fuerzas Lado Izquierdo

Procediendo de manera análoga al cálculo de fuerzas del lado derecho de la costilla se obtiene:

	<p><b>BARRA 21':</b></p> $\sum F_X = -F_{21X1'} + F_{21X2'} - F_{eq21'} \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(90^\circ - \theta_{21}') = 0$ $\sum F_Y = F_{21Y1'} + F_{21Y2'} - F_{eq21'} \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(90^\circ - \theta_{21}') = 0$ $\sum F_Z = F_{21Z1'} + F_{21Z2'} - F_{eq21'} \cdot \sin \beta = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> $\sum M_{X021'} = F_{21Z2'} \cdot m_1 \cdot \cos(\theta_{21}') - F_{eq21'} \cdot \sin(\beta) \cdot \frac{m_1}{2} \cdot \cos(\theta_{21}') + M_{X021'} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> $\sum M_{Y021'} = +F_{21Z2'} \cdot m_1 \cdot \sin(\theta_{21}') - F_{eq21'} \cdot \sin(\beta) \cdot \frac{m_1}{2} \cdot \sin(\theta_{21}') + M_{Y021'} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> $F_{21Y1'} = F_{21X1'} \cdot \frac{\cos(\theta_{21}')}{\sin(\theta_{21}')}$ $F_{21Y2'} = F_{21X2'} \cdot \frac{\cos(\theta_{21}')}{\sin(\theta_{21}')}$
--	---

$$F_{21X2'} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq21'} \cdot \cos(\beta) \cdot \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}') \cdot \frac{\sin(\theta_{21}')}{\cos(\theta_{21}')} + \sin(90^\circ - \theta_{21}') \right] \quad (6.5-141)$$

$$F_{21X1'} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq21'} \cdot \cos(\beta) \cdot \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}') \cdot \frac{\sin(\theta_{21}')}{\cos(\theta_{21}')} - \sin(90^\circ - \theta_{21}') \right] \quad (6.5-142)$$

$$F_{21Y1'} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq21'} \cdot \cos(\beta) \cdot \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}') - \sin(90^\circ - \theta_{21}') \cdot \frac{\cos(\theta_{21}')}{\sin(\theta_{21}')} \right] \quad (6.5-143)$$

$$F_{21Y2'} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq21'} \cdot \cos(\beta) \cdot \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}') + \sin(90^\circ - \theta_{21}') \cdot \frac{\cos(\theta_{21}')}{\sin(\theta_{21}')} \right] \quad (6.5-144)$$

$$F_{21Z1'} = F_{21Z2'} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq21'} \cdot \sin \beta \quad (6.5-145)$$

$$M_{X021'} = -\left\{ \frac{1}{2} \cdot F_{eq21'} \cdot \sin \beta \right\} \cdot m_1 \cdot \cos(\theta_{21}') + F_{eq21'} \cdot \sin(\beta) \cdot \frac{m_1}{2} \cdot \cos(\theta_{21}') = 0 \quad (6.5-146)$$

$$M_{Y021'} = -\left\{ \frac{1}{2} \cdot F_{eq21'} \cdot \sin \beta \right\} \cdot m_1 \cdot \sin(\theta_{21}') + F_{eq21'} \cdot \sin(\beta) \cdot \frac{m_1}{2} \cdot \sin(\theta_{21}') = 0 \quad (6.5-147)$$

	<p><b>BARRA 23':</b></p> $\sum F_X = -F_{23X1'} + F_{23X2'} - F_{eq22'} \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(90^\circ - \theta_{22}') = 0$ $\sum F_Y = F_{23Y1'} + F_{23Y2'} - F_{eq22'} \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(90^\circ - \theta_{22}') = 0$ $\sum F_Z = F_{23Z1'} + F_{23Z2'} - F_{eq22'} \cdot \sin \beta = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> $\sum M_{XA21'} = F_{23Z2'} \cdot m_2 \cdot \cos(\theta_{22}') - F_{eq22'} \cdot \sin(\beta) \cdot \frac{m_2}{2} \cdot \cos(\theta_{22}') = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed #ccc;"/> $F_{23Y1'} = F_{23X1'} \cdot \frac{\cos(\theta_{22}')}{\sin(\theta_{22}')}$ $F_{23Y2'} = F_{23X2'} \cdot \frac{\cos(\theta_{22}')}{\sin(\theta_{22}')}$
--	--

$$F_{23X2'} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq22'} \cdot \cos(\beta) \cdot \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22}') \cdot \frac{\sin(\theta_{22}')}{\cos(\theta_{22}')} + \sin(90^\circ - \theta_{22}') \right] \quad (6.5-148)$$

$$F_{23X1'} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq22'} \cdot \cos(\beta) \cdot \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22}') \cdot \frac{\sin(\theta_{22}')}{\cos(\theta_{22}')} - \sin(90^\circ - \theta_{22}') \right] \quad (6.5-149)$$

$$F_{23Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq22'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22'}) - \sin(90^\circ - \theta_{22'}) * \frac{\cos(\theta_{22'})}{\sin(\theta_{22'})} \right] \quad (6.5-150)$$

$$F_{23Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq22'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22'}) + \sin(90^\circ - \theta_{22'}) * \frac{\cos(\theta_{22'})}{\sin(\theta_{22'})} \right] \quad (6.5-151)$$

$$F_{23Z2'} = \left[ F_{eq22'} * \sin(\beta) * \frac{m_2}{2} * \cos(\theta_{22'}) \right] / [m_2 * \cos(\theta_{22'})] = \frac{1}{2} * F_{eq22'} * \sin(\beta) \quad (6.5-152)$$

$$F_{23Z1'} = -\left\{ \frac{1}{2} * F_{eq22'} * \sin(\beta) \right\} + F_{eq22'} * \sin \beta = \frac{1}{2} * F_{eq22'} * \sin(\beta) \quad (6.5-153)$$

	<p><b>NODO A21' :</b></p> $\sum F_X = -F_{23X1'} + F_{21X2'} - F_{22'} * \sin \alpha_{21'} = 0$ $\sum F_Y = -F_{23Y1'} - F_{21Y2'} + F_{22'} * \cos \alpha_{21'} = 0$ $\sum F_Z = -F_{23Z1'} - F_{21Z2'} + F_{22Z2'} = 0$
--	---

$$F_{22'} = \frac{-F_{23X1'} + F_{21X2'}}{\sin \alpha_{21'}} \quad (6.5-154)$$

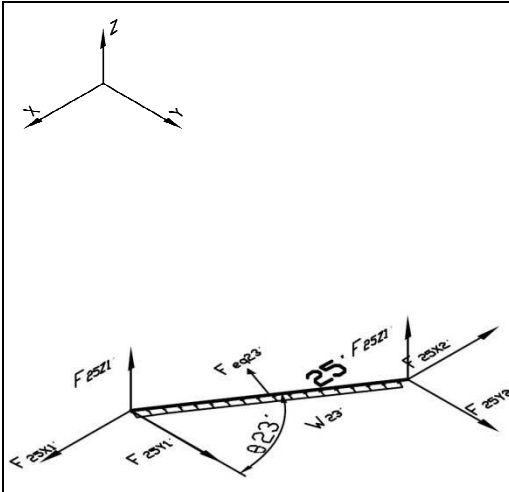
$$F_{22Z2'} = F_{23Z1'} + F_{21Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq22'} + F_{eq21'}] \quad (6.5-155)$$

	<p><b>BARRA 22' :</b></p> $\sum F_X = F_{22'} * \sin \alpha_{21'} - F_{22Z2'} * \sin \alpha_{21'} = 0$ $\sum F_Y = F_{22'} * \cos \alpha_{21'} - F_{22Z2'} * \cos \alpha_{21'} = 0$ $\sum F_Z = F_{22Z1'} - F_{22Z2'} = 0$ <hr/> $\sum M_{XB21} = -F_{22Z2'} * b_1 * \cos \alpha_{21'} - M_{XB21'} = 0$ $\sum M_{YB21} = -F_{22Z2'} * b_1 * \sin \alpha_{21'} - M_{YB21'} = 0$
--	--

$$F_{22Z1'} = F_{22Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq22'} + F_{eq21'}] \quad (6.5-156)$$

$$M_{XB21'} = -F_{22Z2'} * b_1 * \cos \alpha_{21'} \quad (6.5-157)$$

$$M_{YB21'} = -F_{22Z2'} * b_1 * \sin \alpha_{21'} \quad (6.5-158)$$



### BARRA 25':

$$\sum F_X = +F_{25X1'} - F_{25X2'} - F_{eq23'} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{23'}) = 0$$

$$\sum F_Y = F_{25Y1'} + F_{25Y2'} - F_{eq23'} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{23'}) = 0$$

$$\sum F_Z = F_{25Z1'} + F_{25Z2'} - F_{eq23'} * \sin(\beta) = 0$$

$$\sum M_{XA22'} = F_{25Z2'} * m_3 * \cos(\theta_{23'}) - F_{eq23'} * \sin(\beta) * \frac{m_3}{2} * \cos(\theta_{23'}) = 0$$

$$F_{25Y1'} = F_{25X1'} * \frac{\cos(\theta_{23'})}{\sin(\theta_{23'})}$$

$$F_{25Y2'} = F_{25X2'} * \frac{\cos(\theta_{23'})}{\sin(\theta_{23'})}$$

$$F_{25X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq23'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23'}) * \frac{\sin(\theta_{23'})}{\cos(\theta_{23'})} + \sin(90^\circ - \theta_{23'}) \right] \quad (6.5-159)$$

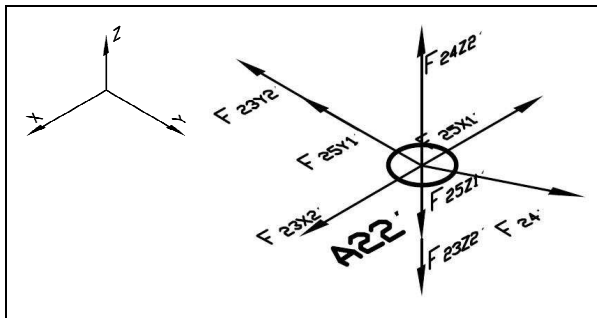
$$F_{25X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq23'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23'}) * \frac{\sin(\theta_{23'})}{\cos(\theta_{23'})} - \sin(90^\circ - \theta_{23'}) \right] \quad (6.5-160)$$

$$F_{25Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq23'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23'}) - \sin(90^\circ - \theta_{23'}) * \frac{\cos(\theta_{23'})}{\sin(\theta_{23'})} \right] \quad (6.5-161)$$

$$F_{25Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq23'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23'}) + \sin(90^\circ - \theta_{23'}) * \frac{\cos(\theta_{23'})}{\sin(\theta_{23'})} \right] \quad (6.5-162)$$

$$F_{25Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq23'} * \sin(\beta) \quad (6.5-163)$$

$$F_{25Z1'} = \frac{1}{2} * F_{eq23'} * \sin(\beta) \quad (6.5-164)$$



### NODO A22':

$$\sum F_X = -F_{25X1'} + F_{23X2'} - F_{24'} * \sin \alpha_{22'} = 0$$

$$\sum F_Y = -F_{25Y1'} - F_{23Y2'} + F_{24'} * \cos \alpha_{22'} = 0$$

$$\sum F_Z = -F_{25Z1'} - F_{23Z2'} + F_{24Z2'} = 0$$

$$F_{24'} = \frac{-F_{25X1'} + F_{23X2'}}{\sin \alpha_{22'}} \quad (6.5-165)$$

$$F_{24Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq23'} + F_{eq22'}] \quad (6.5-166)$$

**BARRA 24':**

$$\sum F_X = F_{24'} * \sin \alpha_{22'} - F_{24'} * \sin \alpha_{22'} = 0$$

$$\sum F_Y = F_{24'} * \cos \alpha_{22'} - F_{24'} * \cos \alpha_{22'} = 0$$

$$\sum F_Z = F_{24Z1'} - F_{24Z2'} = 0$$

$$\sum M_{XB22'} = -F_{24Z2'} * b_2 * \cos \alpha_{22'} - M_{XB22'} = 0$$

$$\sum M_{YB22'} = -F_{24Z2'} * b_2 * \sin \alpha_{22'} - M_{YB22'} = 0$$

$$F_{24Z1'} = F_{24Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq23'} + F_{eq22'}] \quad (6.5-167)$$

$$M_{XB22'} = -\frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{22'} * [F_{eq23'} + F_{eq22'}] \quad (6.5-168)$$

$$M_{YB22'} = -\frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{22'} * [F_{eq23'} + F_{eq22'}] \quad (6.5-169)$$

**BARRA 27':**

$$\sum F_X = +F_{27X1'} - F_{27X2'} - F_{eq24'} * \cos(\beta) * \sin(90^\circ - \theta_{24'}) = 0$$

$$\sum F_Y = F_{27Y1'} + F_{27Y2'} - F_{eq24'} * \cos(\beta) * \cos(90^\circ - \theta_{24'}) = 0$$

$$\sum F_Z = F_{27Z1'} + F_{27Z2'} - F_{eq24'} * \sin \beta = 0$$


---


$$\sum M_{XA23'} = F_{27Z2'} * m_4 * \cos(\theta_{24'}) - F_{eq24'} * \sin(\beta) * \frac{m_4}{2} * \cos(\theta_{24'}) = 0$$


---


$$F_{27Y1'} = F_{27X1'} * \frac{\cos(\theta_{24'})}{\sin(\theta_{24'})}$$

$$F_{27Y2'} = F_{27X2'} * \frac{\cos(\theta_{24'})}{\sin(\theta_{24'})}$$

$$F_{27X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq24'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24'}) * \frac{\sin(\theta_{24'})}{\cos(\theta_{24'})} + \sin(90^\circ - \theta_{24'}) \right] \quad (6.5-170)$$

$$F_{27X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq24'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24'}) * \frac{\sin(\theta_{24'})}{\cos(\theta_{24'})} - \sin(90^\circ - \theta_{24'}) \right] \quad (6.5-171)$$

$$F_{27Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq24'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24'}) - \sin(90^\circ - \theta_{24'}) * \frac{\sin(\theta_{24'})}{\cos(\theta_{24'})} \right] \quad (6.5-172)$$

$$F_{27Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq24'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24'}) + \sin(90^\circ - \theta_{24'}) * \frac{\sin(\theta_{24'})}{\cos(\theta_{24'})} \right] \quad (6.5-173)$$

$$F_{27Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq24'} * \sin(\beta) \quad (6.5-174)$$

$$F_{27Z1'} = \frac{1}{2} * F_{eq24'} * \sin(\beta) \quad (6.5-175)$$

	<b>NODO A23':</b>
	$\sum F_X = -F_{27X1'} + F_{25X2'} + F_{26'} * \cos \alpha_{23'} = 0$ $\sum F_Y = -F_{27Y1'} - F_{25Y2'} + F_{26'} * \sin \alpha_{23'} = 0$ $\sum F_Z = -F_{27Z1'} - F_{25Z2'} + F_{26Z2'} = 0$

$$F_{26'} = \frac{+F_{27X1'} - F_{25X2'}}{\cos \alpha_{23'}} \quad (6.5-176)$$

$$F_{26Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq24'} + F_{eq23'}] \quad (6.5-177)$$

	<b>BARRA 26':</b>
	$\sum F_X = F_{26'} * \cos \alpha_{23'} - F_{26Z1'} * \cos \alpha_{23'} = 0$ $\sum F_Y = F_{26'} * \sin \alpha_{23'} - F_{26Z1'} * \sin \alpha_{23'} = 0$ $\sum F_Z = F_{26Z1'} - F_{26Z2'} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> $\sum M_{XB23'} = -F_{26Z2'} * b_3 * \sin \alpha_{23'} - M_{XB23'} = 0$ $\sum M_{YB23'} = +F_{26Z2'} * b_3 * \cos \alpha_{23'} - M_{YB23'} = 0$

$$F_{26Z1'} = F_{26Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq24'} + F_{eq23'}] \quad (6.5-178)$$

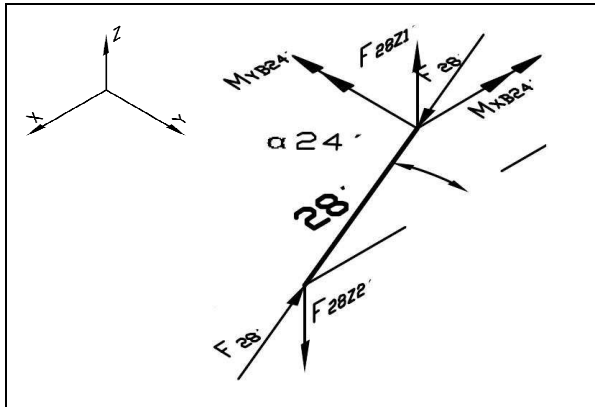
$$M_{XB23'} = -\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{23'} * [F_{eq24'} + F_{eq23'}] \quad (6.5-179)$$

$$M_{YB23'} = +\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{23'} * [F_{eq24'} + F_{eq23'}] \quad (6.5-180)$$

	<b>NODO A24':</b>
	$\sum F_X = +F_{27X2'} + F_{28'} * \cos \alpha_{24'} = 0$ $\sum F_Y = -F_{27Y2'} + F_{28'} * \sin \alpha_{24'} = 0$ $\sum F_Z = -F_{27Z2'} + F_{28Z2'} = 0$

$$F_{28'} = \frac{-F_{27X2'}}{\cos \alpha_{24'}} \quad (6.5-181)$$

$$F_{28Z2'} = F_{27Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq24'} * \sin(\beta) \quad (6.5-182)$$



### BARRA 28':

$$\sum F_X = F_{28'} \cdot \cos \alpha_{24'} - F_{28'} \cdot \cos \alpha_{24'} = 0$$

$$\sum F_Y = F_{28'} \cdot \sin \alpha_{24'} - F_{28'} \cdot \sin \alpha_{24'} = 0$$

$$\sum F_Z = F_{28Z1'} - F_{28Z2'} = 0$$

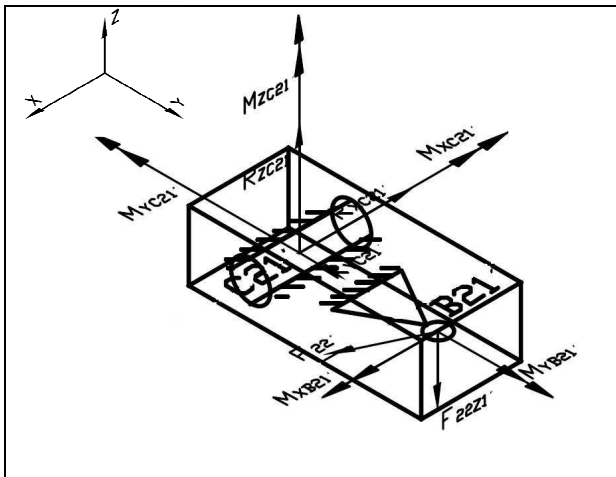
$$\sum M_{XB24'} = -F_{28Z2'} \cdot b_4 \cdot \sin \alpha_{24'} - M_{XB24'} = 0$$

$$\sum M_{YB24'} = +F_{28Z2'} \cdot b_4 \cdot \cos \alpha_{24'} - M_{YB24'} = 0$$

$$F_{28Z1'} = F_{28Z2'} = F_{27Z2'} = \frac{1}{2} \cdot F_{eq24'} \cdot \sin(\beta) \quad (6.5-183)$$

$$M_{XB24'} = -\frac{b_4}{2} \cdot \sin(\beta) \cdot \sin \alpha_{24'} \cdot F_{eq24'} \quad (6.5-184)$$

$$M_{YB24'} = +\frac{b_4}{2} \cdot \sin(\beta) \cdot \cos \alpha_{24'} \cdot F_{eq24'} \quad (6.5-185)$$



### PIEZA B21'-C21':

$$\sum F_X = -R_{XC21'} + F_{22'} \cdot \sin \alpha_{21'} = 0$$

$$\sum F_Y = R_{YC21'} - F_{22'} \cdot \cos \alpha_{21'} = 0$$

$$\sum F_Z = R_{ZC21'} - F_{22Z1'} = 0$$

$$\sum M_{XC21'} = -F_{22Z1'} \cdot d_2 - M_{XC21'} + M_{XB21'} = 0$$

$$\sum M_{YC21'} = M_{YB21'} - M_{YC21'} = 0$$

$$\sum M_{ZC21'} = -F_{22'} \cdot \sin \alpha_{21'} \cdot d_2 + M_{ZC21'} = 0$$

$$R_{XC21'} = F_{22'} \cdot \sin \alpha_{21'} \quad (6.5-186)$$

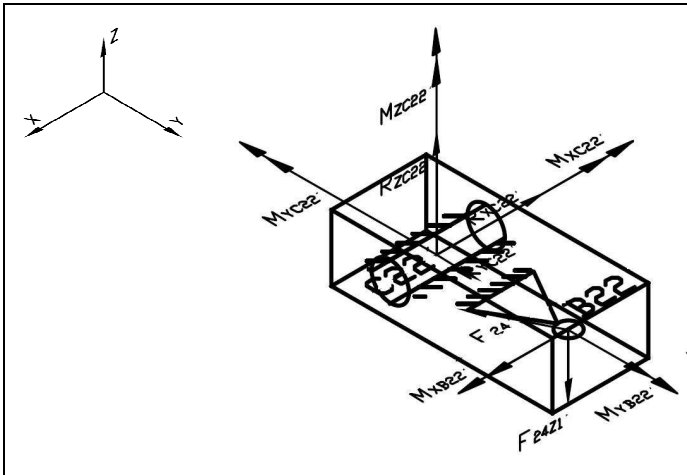
$$R_{YC21'} = F_{22'} \cdot \cos \alpha_{21'} \quad (6.5-187)$$

$$R_{ZC21'} = F_{22Z1'} \quad (6.5-188)$$

$$M_{XC21'} = -F_{22Z1'} \cdot d_2 + M_{XB21'} \quad (6.5-189)$$

$$M_{YC21'} = M_{YB21'} \quad (6.5-190)$$

$$M_{ZC21'} = +F_{22'} \cdot \sin \alpha_{21'} \cdot d_2 \quad (6.5-191)$$



### PIEZA B22'-C22':

$$\sum F_x = -R_{XC22'} + F_{24'} * \sin \alpha_{22'} = 0$$

$$\sum F_y = R_{YC22'} - F_{24'} * \cos \alpha_{22'} = 0$$

$$\sum F_z = R_{ZC22'} - F_{24Z1'} = 0$$

$$\sum M_{XC22'} = -F_{24Z1'} * d_2 - M_{XC22'} + M_{XB22'} = 0$$

$$\sum M_{YC22'} = M_{YB22'} - M_{YC22'} = 0$$

$$\sum M_{ZC22'} = -F_{24'} * \sin \alpha_{22'} * d_2 + M_{ZC22'} = 0$$

$$R_{XC22'} = F_{24'} * \sin \alpha_{22'} \quad (6.5-192)$$

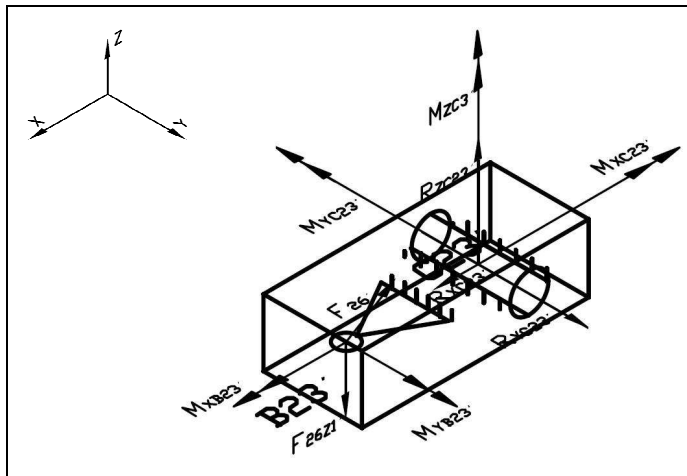
$$R_{YC22'} = F_{24'} * \cos \alpha_{22'} \quad (6.5-193)$$

$$R_{ZC22'} = F_{24Z1'} \quad (6.5-194)$$

$$M_{XC22'} = -F_{24Z1'} * d_2 + M_{XB22'} \quad (6.5-195)$$

$$M_{YC22'} = M_{YB22'} \quad (6.5-196)$$

$$M_{ZC22'} = +F_{24'} * \sin \alpha_{22'} * d_2 \quad (6.5-197)$$



### PIEZA B23'-C23':

$$\sum F_x = +R_{XC23'} - F_{26'} * \cos \alpha_{23'} = 0$$

$$\sum F_y = R_{YC23'} - F_{26'} * \sin \alpha_{23'} = 0$$

$$\sum F_z = R_{ZC23'} - F_{26Z1'} = 0$$

$$\sum M_{XC23'} = -M_{XC23'} + M_{XB23'} = 0$$

$$\sum M_{YC23'} = +F_{26Z1'} * d_2 + M_{YB23'} - M_{YC23'} = 0$$

$$\sum M_{ZC23'} = -F_{26'} * \sin \alpha_{23'} * d_2 + M_{ZC23'} = 0$$

$$R_{XC23'} = F_{26'} * \cos \alpha_{23'} \quad (6.5-198)$$

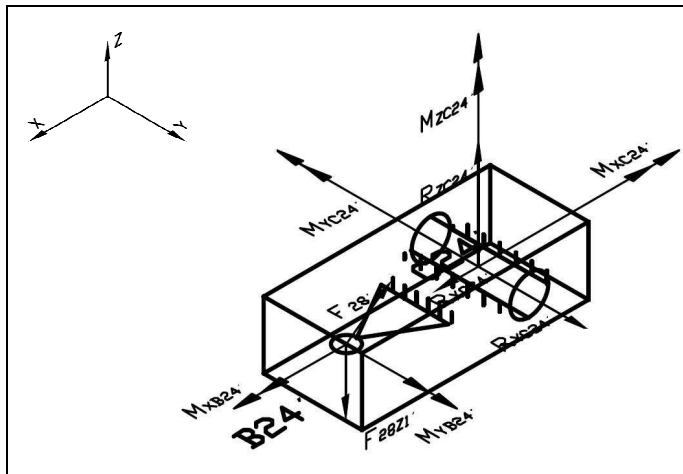
$$R_{YC23'} = F_{26'} * \sin \alpha_{23'} \quad (6.5-199)$$

$$R_{ZC23'} = F_{26Z1'} \quad (6.5-200)$$

$$M_{XC23'} = M_{XB23'} \quad (6.5-201)$$

$$M_{YC23'} = +F_{26Z1'} * d_2 + M_{YB23'} \quad (6.5-202)$$

$$M_{ZC23'} = +F_{26'} * \sin \alpha_{23'} * d_2 \quad (6.5-203)$$



### PIEZA B24'-C24':

$$\sum F_X = +R_{XC24'} - F_{28} \cdot \cos \alpha_{24'} = 0$$

$$\sum F_Y = R_{YC24'} - F_{28} \cdot \sin \alpha_{24'} = 0$$

$$\sum F_Z = R_{ZC24'} - F_{28Z1'} = 0$$

$$\sum M_{XC24'} = -M_{XC24'} + M_{XB24'} = 0$$

$$\sum M_{YC24'} = +F_{28Z1'} \cdot d_2 + M_{YB24'} - M_{YC24'} = 0$$

$$\sum M_{ZC24'} = -F_{28} \cdot \sin \alpha_{24'} \cdot d_2 + M_{ZC24'} = 0$$

$$R_{XC24'} = F_{28} \cdot \cos \alpha_{24'} \quad (6.5-204)$$

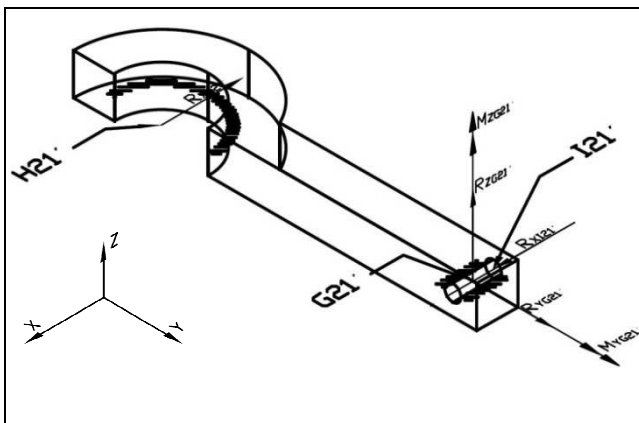
$$R_{YC24'} = F_{28} \cdot \sin \alpha_{24'} \quad (6.5-205)$$

$$R_{ZC24'} = F_{28Z1'} \quad (6.5-206)$$

$$M_{XC24'} = M_{XB24'} \quad (6.5-207)$$

$$M_{YC24'} = +F_{28Z1'} \cdot d_2 + M_{YB24'} \quad (6.5-208)$$

$$M_{ZC24'} = +F_{28} \cdot \sin \alpha_{24'} \cdot d_2 \quad (6.5-209)$$



### TRABA G21'-H21':

$$(6.5-230) \quad \sum F_X = -R_{XH21'} + R_{XH21'} = 0$$

$$(6.5-231) \quad \sum F_Y = R_{YG21'} = 0$$

$$(6.5-232) \quad \sum F_Z = R_{ZG21'} = 0$$

$$(6.5-233) \quad \sum M_{YH21'} = M_{YG21'} + R_{ZG21'} \cdot |x_{G21} - x_{H21}| = 0$$

$$(6.5-234) \quad \sum M_{ZH21'} = M_{ZG21'} - R_{YG21'} \cdot |x_{G21} - x_{H21}| - R_{XH21'} \cdot |y_{H21} - y_{G21}| = 0$$

De (6.5-230) y (6.2-8) se obtiene:

$$R_{XH21'} = R_{XH21'} = F_{1'} = 2 \cdot P \cdot \sin(\Delta\alpha) \quad (6.5-235)$$

De (6.5-231) se obtiene:

$$R_{YG21'} = 0 \quad (6.5-236)$$

De (6.5-232) se obtiene:

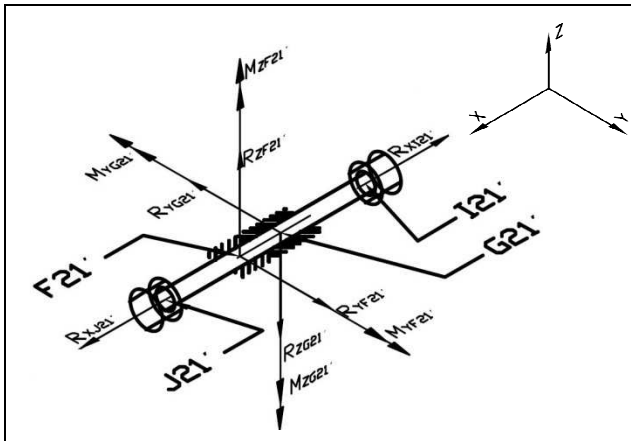
$$R_{ZG21'} = 0 \quad (6.5-237)$$

De (6.5-233) y (6.5-237) se obtiene:

$$M_{YG21'} = -R_{ZG21'} \cdot |x_{G21} - x_{H21}| = 0 \quad (6.5-238)$$

De (6.5-234) y (6.5-236) se obtiene:

$$M_{ZG21'} = +R_{YG21'} \cdot |x_{G21} - x_{H21}| + R_{XH21'} \cdot |y_{H21} - y_{G21}| = +R_{XH21'} \cdot |y_{H21} - y_{G21}| \quad (6.5-239)$$



**PERNO G21'-H21':**

$$(6.5-240) \quad \sum F_x = +R_{xJ21'} - R_{xI21'} = 0$$

$$(6.5-241) \quad \sum F_y = R_{yF21'} - R_{yG21'} = 0$$

$$(6.5-242) \quad \sum F_z = R_{zF21'} - R_{zG21'} = 0$$

$$(6.5-243) \quad \sum M_{yG21'} = M_{yF21'} - M_{yG21'} - R_{zF21'} * |x_{G21'} - x_{F21'}| = 0$$

$$(6.5-244) \quad \sum M_{zG21'} = M_{zF21'} - M_{zG21'} + R_{yF21'} * |x_{G21'} - x_{F21'}| = 0$$

De (6.5-240) se obtiene:

$$R_{xJ21'} = R_{xI21'} \quad (6.5-245)$$

De (6.5-241) y (6.5-236) se obtiene:

$$R_{yF21'} = R_{yG21'} = 0 \quad (6.5-246)$$

De (6.5-242) y (6.5-237) se obtiene:

$$R_{zF21'} = R_{zG21'} = 0 \quad (6.5-247)$$

De (6.5-243), (6.5-238) y (6.5-247) se obtiene:

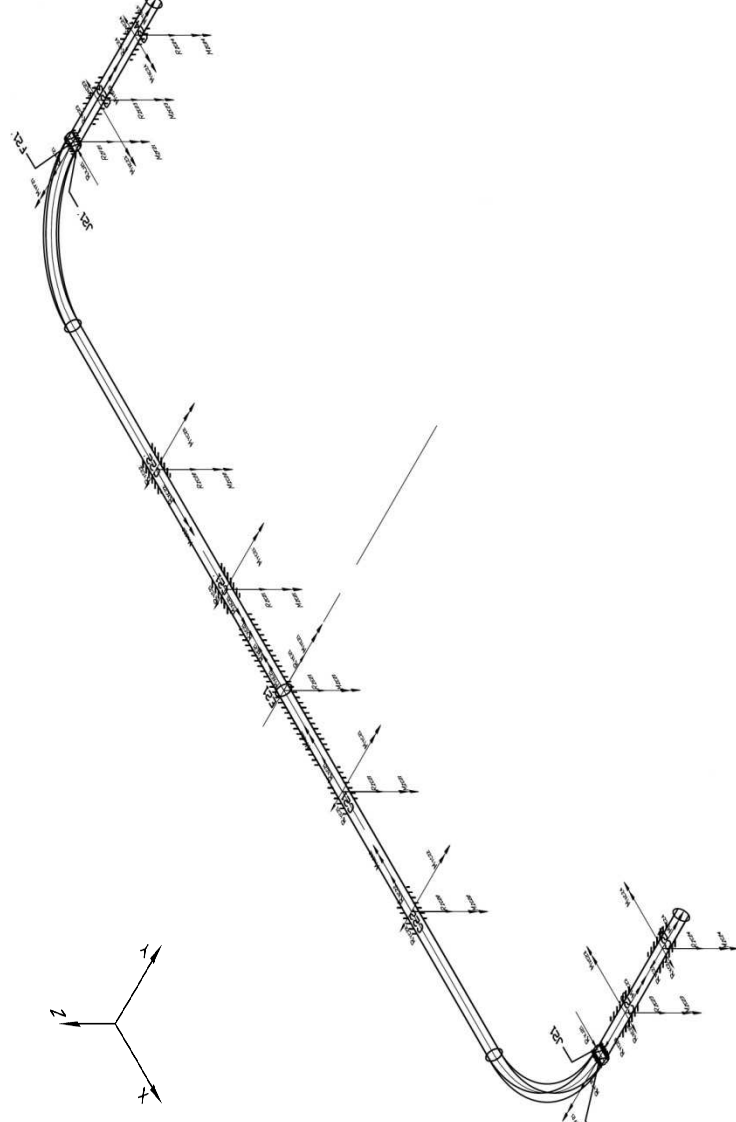
$$M_{yF21'} = M_{yG21'} + R_{zF21'} * |x_{G21'} - x_{F21'}| = 0 \quad (6.5-248)$$

De (6.5-244), (6.5-239) y (6.5-246) se obtiene:

$$M_{zF21'} = M_{zG21'} - R_{yF21'} * |x_{G21'} - x_{F21'}| = M_{zG21'} \quad (6.5-249)$$

### 6.5.3 - Cálculo de Fuerzas en Piezas centrales

#### TUBO CURVO:



$$\sum F_x = -R_{XC21} - R_{XC22} + R_{XC24} + R_{XC21}' + R_{XC22}' - R_{XC23}' - R_{XC24}' - R_{XE21} + R_{XE21}' - R_{XJ21} - R_{XJ21}' = 0 \quad (6.5-210)$$

$$\sum F_y = -R_{YC21} - R_{YC22} - R_{YC23} - R_{YC24} - R_{YC21}' - R_{YC22}' - R_{YC23}' - R_{YC24}' + R_{YE21} - R_{YE21}' - R_{YF21} - R_{YF21}' = 0 \quad (6.5-211)$$

$$\sum F_z = -R_{ZC21} - R_{ZC22} - R_{ZC23} - R_{ZC24} - R_{ZC21}' - R_{ZC22}' - R_{ZC23}' - R_{ZC24}' - R_{ZE21} - R_{ZE21}' - R_{ZF21} - R_{ZF21}' = 0 \quad (6.5-212)$$

$$\sum M_{XE21} = -R_{ZC23} * Y_{C23} - R_{ZC24} * Y_{C24} - R_{ZC23}' * Y_{C23}' - R_{ZC24}' * Y_{C24}' - M_{XC21} - M_{XC22} - M_{XC23} - M_{XC24} + M_{XC21}' + M_{XC22}' + M_{XC23}' + M_{XC24}' - M_{XE21} - R_{ZF21} * Y_{F21} - R_{ZF21}' * Y_{F21}' = 0 \quad (6.5-213)$$

$$\sum M_{YE21} = R_{ZC21} * X_{C21} + R_{ZC22} * X_{C22} + R_{ZC23} * X_{C23} + R_{ZC24} * X_{C24} - R_{ZC21}' * X_{C21}' - R_{ZC22}' * X_{C22}' - R_{ZC23}' * X_{C23}' - R_{ZC24}' * X_{C24}' + M_{YC21} + M_{YC22} + M_{YC23} + M_{YC24} + M_{YE21} + M_{YE21}' + R_{ZF21} + R_{ZF21}' = 0 \quad (6.5-214)$$

$$\sum M_{ZE21} = -R_{YC21} * X_{C21} - R_{YC22} * X_{C22} - R_{YC23} * X_{C23} - R_{YC24} * X_{C24} - R_{YC21}' * X_{C21}' - R_{YC22}' * X_{C22}' - R_{YC23}' * X_{C23}' - R_{YC24}' * X_{C24}' + R_{XC21} + R_{XC22} + R_{XC23} + R_{XC24} + R_{XE21} - M_{ZC21} - M_{ZC22} - M_{ZC23} - M_{ZC24} - M_{ZE21} - M_{ZE21}' - M_{ZF21} - M_{ZF21}' = 0 \quad (6.5-215)$$

De (6.5-210) se obtiene:

$$R_{XE21} = -R_{XC21} - R_{XC22} + R_{XC24} + R_{XC21}' + R_{XC22}' - R_{XC23}' - R_{XC24}' - R_{XJ21} - R_{XJ21}' \quad (6.5-216)$$

De (6.5-211) se obtiene:

$$R_{YE21} = R_{YC21} + R_{YC23} + R_{YC24} + R_{YC21}' + R_{YC22}' + R_{YC23}' + R_{YC24}' + R_{YF21} + R_{YF21}' \quad (6.5-217)$$

De (6.5-212) se obtiene:

$$R_{ZE21} = -R_{ZC21} - R_{ZC22} - R_{ZC23} - R_{ZC24} - R_{ZC21}' - R_{ZC22}' - R_{ZC23}' - R_{ZC24}' - R_{ZF21} - R_{ZF21}' \quad (6.5-218)$$

De (6.5-213) se obtiene:

$$M_{XE21} = -R_{ZC23} * Y_{C23} - R_{ZC24} * Y_{C24} - R_{ZC23}' * Y_{C23}' - R_{ZC24}' * Y_{C24}' - M_{XC21} - M_{XC22} - M_{XC23} - M_{XC24} + M_{XC21}' + M_{XC22}' + M_{XC23}' + M_{XC24}' - M_{XE21} - R_{ZF21} * Y_{F21} - R_{ZF21}' * Y_{F21}' \quad (6.5-219)$$

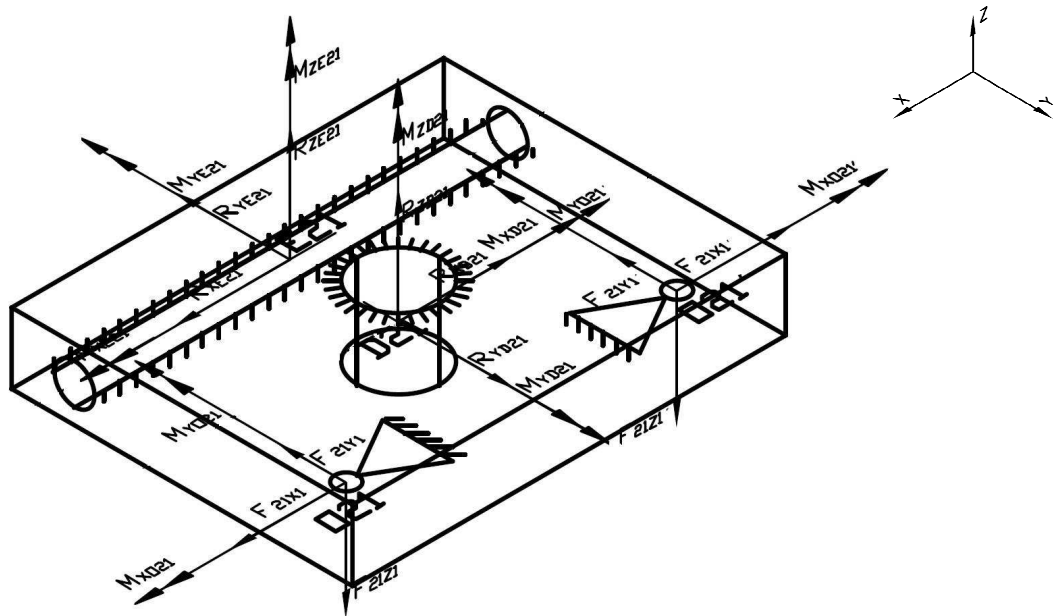
De (6.5-214) se obtiene:

$$M_{YE21} = -R_{ZC21} * X_{C21} - R_{ZC22} * X_{C22} - R_{ZC23} * X_{C23} - R_{ZC24} * X_{C24} + R_{ZC21}' * X_{C21}' + R_{ZC22}' * X_{C22}' + R_{ZC23}' * X_{C23}' + R_{ZC24}' * X_{C24}' + M_{YC21} - M_{YC22} - M_{YC23} - M_{YC24} - M_{YE21} - R_{ZF21} * X_{F21} - R_{ZF21}' * X_{F21}' + M_{YF21} + M_{YF21}' \quad (6.5-220)$$

De (6.5-215) se obtiene:

$$M_{ZE21} = -R_{YC21} * X_{C21} - R_{YC22} * X_{C22} - R_{YC23} * X_{C23} - R_{YC24} * X_{C24} - R_{YC21}' * X_{C21}' - R_{YC22}' * X_{C22}' - R_{YC23}' * X_{C23}' - R_{YC24}' * X_{C24}' + R_{XC21} + R_{XC22} + R_{XC23} + R_{XC24} + R_{XE21} - M_{ZC21} - M_{ZC22} - M_{ZC23} - M_{ZC24} - M_{ZE21} - R_{ZF21} * X_{F21} - R_{ZF21}' * X_{F21}' - M_{ZF21} - M_{ZF21}' \quad (6.5-221)$$

**PIEZA 021-021':**



$$(6.5-222) \quad \sum F_X = F_{21X1} - F_{21X1'} - R_{XD21} + R_{XE21} = 0$$

$$(6.5-223) \quad \sum F_Y = -F_{21Y1} - F_{21Y1'} + R_{YD21} - R_{YE21} = 0$$

$$(6.5-224) \quad \sum F_Z = -F_{21Z1} - F_{21Z1'} + R_{ZD21} + R_{ZE21} = 0$$

$$(6.5-225) \quad \sum M_{XE21} = -F_{21Z1} * d_1 - F_{21Z1'} * d_1 + R_{ZD21} * y_{D21} + M_{XO21} - M_{XO21'} - M_{XD21} + M_{XE21} = 0$$

$$(6.5-226) \quad \sum M_{YE21} = F_{21Z1} * x_{O21} - F_{21Z1'} * |x_{O21}'| - M_{YO21} - M_{YO21'} + M_{YD21} - M_{YE21} = 0$$

$$(6.5-227) \quad \sum M_{ZE21} = -F_{21X1} * d_1 - F_{21Y1} * x_{O21} + F_{21X1'} * d_1 + F_{21Y1'} * |x_{O21}'| + R_{XD21} * y_{D21} + M_{ZD21} + M_{ZE21} = 0$$

De (6.5-222) se obtiene:

$$R_{XD21} = F_{21X1} - F_{21X1'} + R_{XE21} \quad (6.5-228)$$

De (6.5-223) se obtiene:

$$R_{YD21} = F_{21Y1} + F_{21Y1'} + R_{YE21} \quad (6.5-229)$$

De (6.5-224) se obtiene:

$$R_{ZD21} = F_{21Z1} + F_{21Z1'} - R_{ZE21} \quad (6.5-230)$$

De (6.5-225) se obtiene:

$$M_{XD21} = -F_{21Z1} * d_1 - F_{21Z1'} * d_1 + R_{ZD21} * y_{D21} + M_{XO21} - M_{XO21'} + M_{XE21} \quad (6.5-231)$$

De (6.5-226) se obtiene:

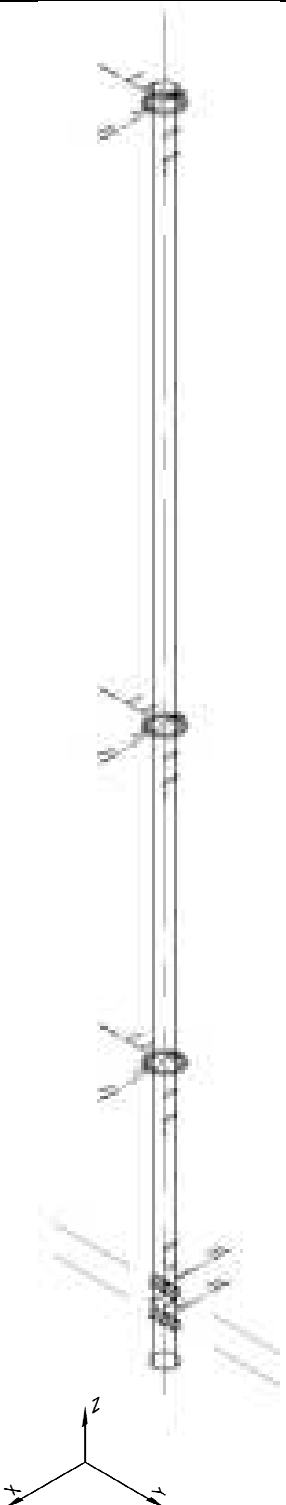
$$M_{YD21} = -F_{21Z1} * x_{O21} + F_{21Z1'} * |x_{O21}'| + M_{YO21} + M_{YO21'} + M_{YE21} \quad (6.5-232)$$

De (6.5-227) se obtiene:

$$M_{ZD21} = F_{21X1} * d_1 + F_{21Y1} * x_{O21} - F_{21X1'} * d_1 - F_{21Y1'} * |x_{O21}'| - R_{XD21} * y_{D21} - M_{ZE21} \quad (6.5-233)$$

## 6.6 - ANÁLISIS ESTÁTICO DE COLUMNA

(Ver folio 6 del plano EIM-01-06-M-001.dwg en ANEXO C)

COLUMNA CENTRAL:	
	$(6.6-1) \quad \sum F_X = R_{XD1} + R_{XD11} + R_{XD21} - R_{XK1} - R_{XK2} = 0$ $(6.6-2) \quad \sum F_Y = -R_{YD1} - R_{YD11} - R_{YD21} + R_{YP1} = 0$ $(6.6-3) \quad \sum F_Z = -R_{ZD1} - R_{ZD11} - R_{ZD21} + R_{ZK1} + R_{ZK2} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> $(6.6-4) \quad \sum M_{XP1} = R_{YD1} *  z_{D1} - z_{P1}  + R_{YD11} *  z_{D11} - z_{P1}  + R_{YD21} *  z_{D21} - z_{P1}  \\ + M_{XD1} + M_{XD11} + M_{XD21} - M_{XK1} - M_{XK2} = 0$ <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> $(6.6-5) \quad \sum M_{YP1} = R_{XD1} *  z_{D1} - z_{P1}  + R_{XD11} *  z_{D11} - z_{P1}  + R_{XD21} *  z_{D21} - z_{P1}  \\ - M_{YD1} - M_{YD11} - M_{YD21} + M_{YP1} = 0$ $(6.6-6) \quad \sum M_{ZP1} = -M_{ZD1} - M_{ZD11} - M_{ZD21} + M_{ZK1} + M_{ZK2} = 0$  <p>De (6.6-1) y suponiendo que <math>R_{XK1} = R_{XK2}</math> se obtiene:</p> $R_{XK1} = R_{XK2} = \frac{R_{XD1} + R_{XD11} + R_{XD21}}{2} \quad (6.6-7)$ <p>De (6.6-2) se obtiene:</p> $R_{YP1} = R_{YD1} + R_{YD11} + R_{YD21} \quad (6.6-8)$ <p>De (6.6-3) y suponiendo que <math>R_{ZK1} = R_{ZK2}</math> se obtiene:</p> $R_{ZK1} = R_{ZK2} = \frac{R_{ZD1} + R_{ZD11} + R_{ZD21}}{2} \quad (6.6-9)$ <p>De (6.6-4) y suponiendo que <math>M_{XK1} = M_{XK2}</math> se obtiene:</p> $M_{XK1} = M_{XK2} = \frac{R_{YD1} *  z_{D1} - z_{P1}  + R_{YD11} *  z_{D11} - z_{P1}  + R_{YD21} *  z_{D21} - z_{P1}  + M_{XD1} + M_{XD11} + M_{XD21}}{2} \quad (6.6-10)$ <p>De (6.6-5) se obtiene:</p> $M_{YP1} = -R_{XD1} *  z_{D1} - z_{P1}  - R_{XD11} *  z_{D11} - z_{P1}  - R_{XD21} *  z_{D21} - z_{P1}  + M_{YD1} + \\ M_{YD11} + M_{YD21} \quad (6.6-11)$ <p>De (6.6-6) y suponiendo que <math>M_{ZK1} = M_{ZK2}</math> se obtiene:</p> $M_{ZK1} = M_{ZK2} = \frac{M_{ZD1} + M_{ZD11} + M_{ZD21}}{2} \quad (6.6-12)$

## 6.7 - CÁLCULO DE FUERZAS Y MOMENTOS CON COMPUTADORA

Para el cálculo de fuerzas y momentos se procedió a desarrollar un programa en Excel, donde los datos de entrada utilizados son:

- Los ángulos formados por cada eslabón con el eje Y:  $\theta_i$
- Los ángulos formados por cada biela con el eje Y:  $\alpha_i$
- El ángulo de inclinación del dispositivo con respecto al eje vertical:  $\beta$
- Las fuerzas equivalentes, correspondientes a cada eslabón, resultantes de la fuerza Peso ejercida sobre el respaldar:  $F_{eq_i}$

Además, se supone que dichas fuerzas equivalentes son iguales

- Las dimensiones: coordenada Y de los puntos D, G21, H21, F21; coordenada X de los puntos F21, F21'; coordenada Z del punto P1; y las coordenadas Z de cada costilla

Datos generales			
$\beta =$	10,00	°	0,17 rad --> ángulo de reclinación del respaldar
m =	80,00	kg	--> masa usuario
P =	784,00	N	--> peso usuario
P <sub>r</sub> =	196,00	N	--> peso usuario sobre el respaldar
Y <sub>D</sub> =	20,00	mm	--> coord Y del pto D
$\Delta\alpha =$	5,00	°	0,09 rad --> ángulo de inclinación lateral del respaldar
F <sub>l max</sub> =	34,17	N	--> fuerza lateral máxima
Y <sub>G21</sub> =	20,00	mm	--> coord Y del pto G21
Y <sub>H21</sub> =	-30,00	mm	--> coord Y del pto H21
Y <sub>F21</sub> =	20,00	mm	--> coord Y del pto F21
X <sub>F21</sub> =	200,00	mm	--> coord X del pto F21
X <sub>F21'</sub> =	-200,00	mm	--> coord X del pto F21'
Z <sub>P1</sub> =	30,00	mm	--> coord Z del pto P1
Z <sub>D1</sub> =	150,00	mm	--> coord Z de la costilla inferior
Z <sub>D11</sub> =	300,00	mm	--> coord Z de la costilla media
Z <sub>D21</sub> =	500,00	mm	--> coord Z de la costilla superior

Datos - Costilla Inferior

Feq1	=	8,91	N
Feq2	=	8,91	N
Feq3	=	8,91	N
Feq4	=	8,91	N
Feq1'	=	8,91	N
Feq2'	=	8,91	N
Feq3'	=	8,91	N
Feq4'	=	8,91	N

$\theta_1$	=	87,30	°	=	1,52	rad
$\theta_2$	=	79,36	°	=	1,39	rad
$\theta_3$	=	37,45	°	=	0,65	rad
$\theta_4$	=	-4,20	°	=	-0,07	rad
$\theta_1'$	=	87,30	°	=	1,52	rad
$\theta_2'$	=	79,36	°	=	1,39	rad
$\theta_3'$	=	37,45	°	=	0,65	rad
$\theta_4'$	=	-4,20	°	=	-0,07	rad

$\alpha_1$	=	33,47	°	=	0,58	rad
$\alpha_2$	=	35,65	°	=	0,62	rad
$\alpha_3$	=	85,03	°	=	1,48	rad
$\alpha_4$	=	77,26	°	=	1,35	rad
$\alpha_1'$	=	33,47	°	=	0,58	rad
$\alpha_2'$	=	35,65	°	=	0,62	rad
$\alpha_3'$	=	85,03	°	=	1,48	rad
$\alpha_4'$	=	77,26	°	=	1,35	rad

YD1	=	20,00	mm
-----	---	-------	----

Datos - Costilla Media

Feq11	=	8,91	N
Feq12	=	8,91	N
Feq13	=	8,91	N
Feq11'	=	8,91	N
Feq12'	=	8,91	N
Feq13'	=	8,91	N

$\theta_{11}$	=	87,58	°	=	1,54	rad
$\theta_{12}$	=	78,65	°	=	1,37	rad
$\theta_{13}$	=	-10,35	°	=	-0,18	rad
$\theta_{11}'$	=	87,58	°	=	1,54	rad
$\theta_{12}'$	=	78,65	°	=	1,37	rad
$\theta_{13}'$	=	-10,35	°	=	-0,18	rad

$\alpha_{11}$	=	35,17	°	=	0,61	rad
$\alpha_{12}$	=	35,60	°	=	0,62	rad
$\alpha_{13}$	=	23,50	°	=	0,41	rad
$\alpha_{11}'$	=	35,17	°	=	0,61	rad
$\alpha_{12}'$	=	35,60	°	=	0,62	rad
$\alpha_{13}'$	=	23,50	°	=	0,41	rad

YD11	=	20,00	mm
------	---	-------	----

Datos - Costilla Superior

Feq21	=	8,91	N
Feq22	=	8,91	N
Feq23	=	8,91	N
Feq24	=	8,91	N
Feq21'	=	8,91	N
Feq22'	=	8,91	N
Feq23'	=	8,91	N
Feq24'	=	8,91	N

$\theta_{21}$	=	85,28	°	=	1,49	rad
$\theta_{22}$	=	73,61	°	=	1,28	rad
$\theta_{23}$	=	38,21	°	=	0,57	rad
$\theta_{24}$	=	-1,00	°	=	-0,02	rad
$\theta_{21}'$	=	85,28	°	=	1,49	rad
$\theta_{22}'$	=	73,61	°	=	1,28	rad
$\theta_{23}'$	=	38,21	°	=	0,57	rad
$\theta_{24}'$	=	-1,00	°	=	-0,02	rad

$\alpha_{21}$	=	27,86	°	=	0,49	rad
$\alpha_{22}$	=	17,78	°	=	0,31	rad
$\alpha_{23}$	=	84,11	°	=	1,47	rad
$\alpha_{24}$	=	80,61	°	=	1,41	rad
$\alpha_{21}'$	=	27,86	°	=	0,49	rad
$\alpha_{22}'$	=	17,78	°	=	0,31	rad
$\alpha_{23}'$	=	84,11	°	=	1,47	rad
$\alpha_{24}'$	=	80,61	°	=	1,41	rad

YD21	=	20,00	mm
------	---	-------	----

Utilizando las fórmulas que se resumen en las tablas al final de esta sección, se obtiene:

<u>Costilla Inferior</u>					
Lado derecho	Lado izquierdo	Tubo curvo			
F1X2 = 92,86	N	F1X2' = 93,27	N	RxE1 = 26,06	N
F1X1 = 93,27	N	F1X1' = 92,86	N	RyE1 = 327,48	N
F1Y1 = 4,39	N	F1Y1' = 4,37	N	RzE1 = -10,83	N
F1Y2 = 4,37	N	F1Y2' = 4,39	N	MxE1 = -1032,64	Nmm
F1Z1 = 0,77	N	F1Z1' = 0,77	N	MyE1 = 0,00	Nmm
F1Z2 = 0,77	N	F1Z2' = 0,77	N	MzE1 = -21049,83	Nmm
MxO1 = 0,00	Nmm	MxO1' = 0,00	Nmm	<b>Pieza O1-O1'</b>	
MyO1 = 0,00	Nmm	MyO1' = 0,00	Nmm	RxD1 = 26,48	N
F3X2 = 22,15	N	F3X2' = 23,77	N	RyD1 = 336,24	N
F3X1 = 23,77	N	F3X1' = 22,15	N	RzD1 = 12,38	N
F3Y1 = 4,46	N	F3Y1' = 4,16	N	MxD1 = -1303,37	Nmm
F3Y2 = 4,16	N	F3Y2' = 4,46	N	MyD1 = 0,00	Nmm
F3Z1 = 0,77	N	F3Z1' = 0,77	N	MzD1 = 20543,31	Nmm
F3Z2 = 0,77	N	F3Z2' = 0,77	N		
F2 = 125,27	N	F2' = 128,96	N		
F2Z1 = 1,55	N	F2Z1' = 1,55	N		
F2Z2 = 1,55	N	F2Z2' = 1,55	N		
MxB1 = 55,49	Nmm	MxB1' = -55,49	Nmm		
MyB1 = 36,69	Nmm	MyB1' = -36,69	Nmm		
F5X2 = -1,44	N	F5X2' = 5,53	N		
F5X1 = 5,53	N	F5X1' = -1,44	N		
F5Y1 = 7,21	N	F5Y1' = -1,88	N		
F5Y2 = -1,88	N	F5Y2' = 7,21	N		
F5Z1 = 0,77	N	F5Z1' = 0,77	N		
F5Z2 = 0,77	N	F5Z2' = 0,77	N		
F4 = 28,52	N	F4' = 43,24	N		
F4Z1 = 1,55	N	F4Z1' = 1,55	N		
F4Z2 = 1,55	N	F4Z2' = 1,55	N		
MxB2 = 72,91	Nmm	MxB2' = -72,91	Nmm		
MyB2 = 52,30	Nmm	MyB2' = -52,30	Nmm		
F7X2 = -4,35	N	F7X2' = 4,40	N		
F7X1 = 4,40	N	F7X1' = -4,35	N		
F7Y1 = -59,94	N	F7Y1' = 59,30	N		
F7Y2 = 59,30	N	F7Y2' = -59,94	N		
F7Z1 = 0,77	N	F7Z1' = 0,77	N		
F7Z2 = 0,77	N	F7Z2' = 0,77	N		
F6 = 67,44	N	F6' = -9,91	N		
F6Z1 = 1,55	N	F6Z1' = 1,55	N		
F6Z2 = 1,55	N	F6Z2' = 1,55	N		
MxB3 = 89,39	Nmm	MxB3' = -89,39	Nmm		
MyB3 = -7,77	Nmm	MyB3' = 7,77	Nmm		
F8 = 19,73	N	F8' = -19,94	N		
F8Z1 = 0,77	N	F8Z1' = 0,77	N		
F8Z2 = 0,77	N	F8Z2' = 0,77	N		
MxB4 = 32,44	Nmm	MxB4' = -32,44	Nmm		
MyB4 = -7,34	Nmm	MyB4' = 7,34	Nmm		
RxC1 = 69,09	N	RxC1' = 71,12	N		
RyC1 = 104,50	N	RyC1' = 107,57	N		
RzC1 = 1,55	N	RzC1' = 1,55	N		
MxC1 = 89,53	Nmm	MxC1' = -89,53	Nmm		
MyC1 = 36,69	Nmm	MyC1' = -36,69	Nmm		
MzC1 = -1520,00	Nmm	MzC1' = 1564,71	Nmm		
RxC2 = 16,62	N	RxC2' = 25,21	N		
RyC2 = 23,17	N	RyC2' = 35,14	N		
RzC2 = 1,55	N	RzC2' = 1,55	N		
MxC2 = 106,94	Nmm	MxC2' = -106,94	Nmm		
MyC2 = 52,30	Nmm	MyC2' = -52,30	Nmm		
MzC2 = -365,69	Nmm	MzC2' = 554,55	Nmm		
RxC3 = 5,84	N	RxC3' = -0,86	N		
RyC3 = 67,18	N	RyC3' = -9,88	N		
RzC3 = 1,55	N	RzC3' = 1,55	N		
MxC3 = 89,39	Nmm	MxC3' = -89,39	Nmm		
MyC3 = -41,80	Nmm	MyC3' = 41,80	Nmm		
MzC3 = -1478,04	Nmm	MzC3' = -217,31	Nmm		
RxC4 = 4,35	N	RxC4' = -4,40	N		
RyC4 = 19,24	N	RyC4' = -19,45	N		
RzC4 = 0,77	N	RzC4' = 0,77	N		
MxC4 = 32,44	Nmm	MxC4' = -32,44	Nmm		
MyC4 = -24,35	Nmm	MyC4' = 24,35	Nmm		
MzC4 = -423,32	Nmm	MzC4' = -427,90	Nmm		

## Costilla Media

### Lado derecho

F11X2 =	124,03	N
F11X1 =	124,34	N
F11Y1 =	4,39	N
F11Y2 =	4,38	N
F11Z1 =	0,77	N
F11Z2 =	0,77	N
MXO11 =	0,00	Nmm
MYO11 =	0,00	Nmm
F13X2 =	20,56	N
F13X1 =	22,29	N
F13Y1 =	4,47	N
F13Y2 =	4,13	N
F13Z1 =	0,77	N
F13Z2 =	0,77	N
F12 =	176,66	N
F12Z1 =	1,55	N
F12Z2 =	1,55	N
MXB11 =	54,38	Nmm
MYB11 =	38,31	Nmm
F15X2 =	-4,17	N
F15X1 =	4,46	N
F15Y1 =	-24,42	N
F15Y2 =	22,84	N
F15Z1 =	0,77	N
F15Z2 =	0,77	N
F14 =	27,66	N
F14Z1 =	1,55	N
F14Z2 =	1,55	N
MXB12 =	72,96	Nmm
MYB12 =	52,24	Nmm

### Lado izquierdo

F11X2' =	124,34	N
F11X1' =	124,03	N
F11Y1' =	4,38	N
F11Y2' =	4,39	N
F11Z1' =	0,77	N
F11Z2' =	0,77	N
MXO11' =	0,00	Nmm
MYO11' =	0,00	Nmm
F13X2' =	22,29	N
F13X1' =	20,56	N
F13Y1' =	4,13	N
F13Y2' =	4,47	N
F13Z1' =	0,77	N
F13Z2' =	0,77	N
F12' =	180,19	N
F12Z1' =	1,55	N
F12Z2' =	1,55	N
MXB11' =	-54,38	Nmm
MYB11' =	-38,31	Nmm
F15X2' =	4,46	N
F15X1' =	-4,17	N
F15Y1' =	22,84	N
F15Y2' =	-24,42	N
F15Z1' =	0,77	N
F15Z2' =	0,77	N
F14' =	45,45	N
F14Z1' =	1,55	N
F14Z2' =	1,55	N
MXB12' =	-72,96	Nmm
MYB12' =	-52,24	Nmm

### Tubo curvo

RXE11 =	26,82	N
RYE11 =	348,52	N
RZE11 =	-7,74	N
MXE11 =	-519,06	Nmm
MYE11 =	0,00	Nmm
MZE11 =	-624,03	Nmm

### Pieza O11-O11'

RXD11 =	27,13	N
RVD11 =	357,29	N
RZD11 =	9,28	N
MXD11 =	-727,92	Nmm
MYD11 =	0,00	Nmm
MZD11 =	98,59	Nmm

F16 =	4,55	N
F16Z1 =	0,77	N
F16Z2 =	0,77	N
MXB13 =	17,89	Nmm
MYB13 =	-41,14	Nmm

F16' =	-11,18	N
F16Z1' =	0,77	N
F16Z2' =	0,77	N
MXB13' =	-17,89	Nmm
MYB13' =	41,14	Nmm

RXC11 =	101,74	N
RVC11 =	144,42	N
RZC11 =	1,55	N
MXC11 =	88,42	Nmm
MYC11 =	38,31	Nmm
MZC11 =	-2238,37	Nmm
RXC12 =	16,10	N
RVC12 =	22,49	N
RZC12 =	1,55	N
MXC12 =	106,99	Nmm
MYC12 =	52,24	Nmm
MZC12 =	-354,24	Nmm
RXC13 =	4,17	N
RVC13 =	1,81	N
RZC13 =	0,77	N
MXC13 =	17,89	Nmm
MYC13 =	-58,16	Nmm
MZC13 =	-39,91	Nmm

RXC11' =	103,78	N
RVC11' =	147,31	N
RZC11' =	1,55	N
MXC11' =	-88,42	Nmm
MYC11' =	-38,31	Nmm
MZC11' =	2283,17	Nmm
RXC12' =	26,46	N
RVC12' =	36,96	N
RZC12' =	1,55	N
MXC12' =	-106,99	Nmm
MYC12' =	-52,24	Nmm
MZC12' =	582,11	Nmm
RXC13' =	-10,26	N
RVC13' =	-4,46	N
RZC13' =	0,77	N
MXC13' =	-17,89	Nmm
MYC13' =	58,16	Nmm
MZC13' =	-98,11	Nmm

## Costilla Superior

### Lado derecho

F21X2 =	52,62	N
F21X1 =	53,34	N
F21Y1 =	4,40	N
F21Y2 =	4,34	N
F21Z1 =	0,77	N
F21Z2 =	0,77	N
MX021 =	0,00	Nmm
MY021 =	0,00	Nmm
F23X2 =	13,07	N
F23X1 =	15,55	N
F23Y1 =	4,57	N
F23Y2 =	3,84	N
F23Z1 =	0,77	N
F23Z2 =	0,77	N
F22 =	79,34	N
F22Z1 =	1,55	N
F22Z2 =	1,55	N
MXB21 =	58,81	Nmm
MYB21 =	31,08	Nmm
F25X2 =	-1,31	N
F25X1 =	5,58	N
F25Y1 =	7,09	N
F25Y2 =	-1,66	N
F25Z1 =	0,77	N
F25Z2 =	0,77	N
F24 =	24,52	N
F24Z1 =	1,55	N
F24Z2 =	1,55	N
MXB22 =	85,44	Nmm
MYB22 =	27,40	Nmm
F27X2 =	-4,38	N
F27X1 =	4,39	N
F27Y1 =	-251,55	N
F27Y2 =	251,39	N
F27Z1 =	0,77	N
F27Z2 =	0,77	N
F26 =	55,53	N
F26Z1 =	1,55	N
F26Z2 =	1,55	N
MXB23 =	89,26	Nmm
MYB23 =	-9,21	Nmm
F28 =	26,88	N
F28Z1 =	0,77	N
F28Z2 =	0,77	N
MXB24 =	32,82	Nmm
MYB24 =	-5,43	Nmm
RXC21 =	37,07	N
RYC21 =	70,14	N
RZC21 =	1,55	N
MXC21 =	92,85	Nmm
MYC21 =	31,08	Nmm
MZC21 =	-815,56	Nmm
RXC22 =	7,49	N
RYC22 =	23,35	N
RZC22 =	1,55	N
MXC22 =	119,48	Nmm
MYC22 =	27,40	Nmm
MZC22 =	-164,71	Nmm
RXC23 =	5,70	N
RYC23 =	55,24	N
RZC23 =	1,55	N
MXC23 =	89,26	Nmm
MYC23 =	-43,24	Nmm
MZC23 =	-1215,26	Nmm
RXC24 =	4,38	N
RYC24 =	26,52	N
RZC24 =	0,77	N
MXC24 =	32,82	Nmm
MYC24 =	-22,44	Nmm
MZC24 =	-583,42	Nmm

### Lado izquierdo

F21X2' =	53,34	N
F21X1' =	52,62	N
F21Y1' =	4,34	N
F21Y2' =	4,40	N
F21Z1' =	0,77	N
F21Z2' =	0,77	N
MX021' =	0,00	Nmm
MY021' =	0,00	Nmm
F23X2' =	15,55	N
F23X1' =	13,07	N
F23Y1' =	3,84	N
F23Y2' =	4,57	N
F23Z1' =	0,77	N
F23Z2' =	0,77	N
F22' =	86,18	N
F22Z1' =	1,55	N
F22Z2' =	1,55	N
MXB21' =	-58,81	Nmm
MYB21' =	-31,08	Nmm
F25X2' =	5,58	N
F25X1' =	-1,31	N
F25Y1' =	-1,66	N
F25Y2' =	7,09	N
F25Z1' =	0,77	N
F25Z2' =	0,77	N
F24' =	55,21	N
F24Z1' =	1,55	N
F24Z2' =	1,55	N
MXB22' =	-85,44	Nmm
MYB22' =	-27,40	Nmm
F27X2' =	4,39	N
F27X1' =	-4,38	N
F27Y1' =	251,39	N
F27Y2' =	-251,55	N
F27Z1' =	0,77	N
F27Z2' =	0,77	N
F26' =	-10,02	N
F26Z1' =	1,55	N
F26Z2' =	1,55	N
MXB23' =	-89,26	Nmm
MYB23' =	9,21	Nmm
F28' =	-26,90	N
F28Z1' =	0,77	N
F28Z2' =	0,77	N
MXB24' =	-32,82	Nmm
MYB24' =	5,43	Nmm
RXC21' =	40,27	N
RYC21' =	76,19	N
RZC21' =	1,55	N
MXC21' =	-92,85	Nmm
MYC21' =	-31,08	Nmm
MZC21' =	885,90	Nmm
RXC22' =	16,86	N
RYC22' =	52,57	N
RZC22' =	1,55	N
MXC22' =	-119,48	Nmm
MYC22' =	-27,40	Nmm
MZC22' =	370,84	Nmm
RXC23' =	-1,03	N
RYC23' =	-9,97	N
RZC23' =	1,55	N
MXC23' =	-89,26	Nmm
MYC23' =	43,24	Nmm
MZC23' =	-219,30	Nmm
RXC24' =	-4,39	N
RYC24' =	-26,54	N
RZC24' =	0,77	N
MXC24' =	-32,82	Nmm
MYC24' =	22,44	Nmm
MZC24' =	-583,77	Nmm

### Tubo curvo

RXE21 =	28,07	N
RYE21 =	267,51	N
RZE21 =	-10,83	N
MXE21 =	-1064,83	Nmm
MYE21 =	0,00	Nmm
MZE21 =	-19627,23	Nmm

### Pieza O21-O21

RXD21 =	28,79	N
RYD21 =	276,25	N
RZD21 =	12,38	N
MXD21 =	-1335,56	Nmm
MYD21 =	0,00	Nmm
MZD21 =	19092,07	Nmm

### Traba y perno

RXH21 =	34,17	N
RXJ21 =	34,17	N
RYG21 =	0,00	N
RZG21 =	0,00	N
MYG21 =	0,00	Nmm
MZG21 =	-1708,25	Nmm
RXJ21 =	34,17	N
RYF21 =	0,00	N
RZF21 =	0,00	N
MYF21 =	0,00	Nmm
MZF21 =	-1708,25	Nmm

RXH21' =	34,17	N
RXJ21' =	34,17	N
RYG21' =	0,00	N
RZG21' =	0,00	N
MYG21' =	0,00	Nmm
MZG21' =	1708,25	Nmm
RXJ21' =	34,17	N
RYF21' =	0,00	N
RZF21' =	0,00	N
MYF21' =	0,00	Nmm
MZF21' =	1708,25	Nmm

## Columna Central

RXK1 =	41,20	N
RXK2 =	41,20	N
RYP1 =	969,79	N
RZK1 =	17,02	N
RZK2 =	17,02	N
MXK1 =	131644,73	Nmm
MXK2 =	131644,73	Nmm
MYP1 =	-24032,28	Nmm
MZK1 =	19866,99	Nmm
MZK2 =	19866,99	Nmm

**COSTILLA INFERIOR: Lado derecho**

(6.3-10)	$F_{1X2} = \frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_1) * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} - \sin(90^\circ - \theta_1) \right]$
(6.3-11)	$F_{1X1} = \frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_1) * \frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} + \sin(90^\circ - \theta_1) \right]$
(6.3-12)	$F_{1Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_1) + \sin(90^\circ - \theta_1) * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} \right]$
(6.3-13)	$F_{1Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq1} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_1) - \sin(90^\circ - \theta_1) * \frac{\cos(\theta_1)}{\sin(\theta_1)} \right]$
(6.3-14)	$F_{1Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq1} * \sin \beta$
(6.3-14)	$F_{1Z2} = F_{1Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq1} * \sin \beta$
(6.3-15)	$M_{XO1} = 0$
(6.3-16)	$M_{YO1} = 0$
(6.3-23)	$F_{3X2} = \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_2) * \frac{\sin(\theta_2)}{\cos(\theta_2)} - \sin(90^\circ - \theta_2) \right]$
(6.3-24)	$F_{3X1} = \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_2) * \frac{\sin(\theta_2)}{\cos(\theta_2)} + \sin(90^\circ - \theta_2) \right]$
(6.3-25)	$F_{3Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_2) + \sin(90^\circ - \theta_2) * \frac{\cos(\theta_2)}{\sin(\theta_2)} \right]$
(6.3-26)	$F_{3Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq2} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_2) - \sin(90^\circ - \theta_2) * \frac{\cos(\theta_2)}{\sin(\theta_2)} \right]$
(6.3-27)	$F_{3Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq2} * \sin(\beta)$
(6.3-28)	$F_{3Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq2} * \sin(\beta)$
(6.3-31)	$F_2 = \frac{F_{1X2} - F_{3X1}}{\sin \alpha_1}$
(6.3-32)	$F_{2Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq2} + F_{eq1}]$
(6.3-36)	$F_{2Z1} = F_{2Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq2} + F_{eq1}]$
(6.3-37)	$M_{XB1} = \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_1 * [F_{eq2} + F_{eq1}]$
(6.3-38)	$M_{YB1} = \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_1 * [F_{eq2} + F_{eq1}]$
(6.3-45)	$F_{5X2} = \frac{1}{2} * F_{eq3} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_3) * \frac{\sin(\theta_3)}{\cos(\theta_3)} - \sin(90^\circ - \theta_3) \right]$
(6.3-46)	$F_{5X1} = \frac{1}{2} * F_{eq3} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_3) * \frac{\sin(\theta_3)}{\cos(\theta_3)} + \sin(90^\circ - \theta_3) \right]$
(6.3-47)	$F_{5Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq3} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_3) + \sin(90^\circ - \theta_3) * \frac{\cos(\theta_3)}{\sin(\theta_3)} \right]$
(6.3-48)	$F_{5Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq3} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_3) - \sin(90^\circ - \theta_3) * \frac{\cos(\theta_3)}{\sin(\theta_3)} \right]$

(6.3-49)	$F_{5Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq3} * \sin(\beta)$
(6.3-50)	$F_{5Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq3} * \sin(\beta)$
(6.3-53)	$F_4 = \frac{F_{3X2} - F_{5X1}}{\sin \alpha_2}$
(6.3-54)	$F_{4Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq3} + F_{eq2}]$
(6.3-58)	$F_{4Z1} = F_{4Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq3} + F_{eq2}]$
(6.3-59)	$M_{XB2} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_2 * [F_{eq3} + F_{eq2}]$
(6.3-60)	$M_{YB2} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_2 * [F_{eq3} + F_{eq2}]$
(6.3-67)	$F_{7X2} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_4) * \frac{\sin(\theta_4)}{\cos(\theta_4)} - \sin(90^\circ - \theta_4) \right]$
(6.3-68)	$F_{7X1} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_4) * \frac{\sin(\theta_4)}{\cos(\theta_4)} + \sin(90^\circ - \theta_4) \right]$
(6.3-69)	$F_{7Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_4) + \sin(90^\circ - \theta_4) * \frac{\cos(\theta_4)}{\sin(\theta_4)} \right]$
(6.3-70)	$F_{7Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_4) - \sin(90^\circ - \theta_4) * \frac{\cos(\theta_4)}{\sin(\theta_4)} \right]$
(6.3-71)	$F_{7Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \sin(\beta)$
(6.3-72)	$F_{7Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \sin(\beta)$
(6.3-75)	$F_6 = \frac{F_{7X1} - F_{5X2}}{\cos \alpha_3}$
(6.3-76)	$F_{6Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq4} + F_{eq3}]$
(6.3-80)	$F_{6Z1} = F_{6Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq4} + F_{eq3}]$
(6.3-81)	$M_{XB3} = \frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_3 * [F_{eq4} + F_{eq3}]$
(6.3-82)	$M_{YB3} = -\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_3 * [F_{eq4} + F_{eq3}]$
(6.3-85)	$F_8 = \frac{-F_{7X2}}{\cos \alpha_4}$
(6.3-86)	$F_{8Z2} = F_{7Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \sin(\beta)$
(6.3-90)	$F_{8Z1} = F_{8Z2} = F_{7Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq4} * \sin(\beta)$
(6.3-91)	$M_{XB4} = \frac{b_4}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_4 * F_{eq4}$
(6.3-92)	$M_{YB4} = -\frac{b_4}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_4 * F_{eq4}$
(6.3-99)	$R_{XC1} = F_2 * \sin \alpha_1$

(6.3-100)	$R_{YC1} = F_2 * \cos \alpha_1$
(6.3-101)	$R_{ZC1} = F_{2Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq2} + F_{eq1}]$
(6.3-102)	$M_{XC1} = F_{2Z1} * d_2 + M_{XB1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq2} + F_{eq1}] * [d_2 + b_1 * \cos \alpha_1]$
(6.3-103)	$M_{YC1} = M_{YB1} = \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_1 * [F_{eq2} + F_{eq1}]$
(6.3-104)	$M_{ZC1} = -F_2 * \sin \alpha_1 * d_2$
(6.3-111)	$R_{XC2} = F_4 * \sin \alpha_2$
(6.3-112)	$R_{YC2} = F_4 * \cos \alpha_2$
(6.3-113)	$R_{ZC2} = F_{4Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq3} + F_{eq2}]$
(6.3-114)	$M_{XC2} = F_{4Z1} * d_2 + M_{XB2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq3} + F_{eq2}] * [d_2 + b_2 * \cos \alpha_2]$
(6.3-115)	$M_{YC2} = M_{YB2} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_2 * [F_{eq3} + F_{eq2}]$
(6.3-116)	$M_{ZC2} = -F_4 * \sin \alpha_2 * d_2$
(6.3-123)	$R_{XC3} = F_6 * \cos \alpha_3$
(6.3-124)	$R_{YC3} = F_6 * \sin \alpha_3$
(6.3-125)	$R_{ZC3} = F_{6Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq4} + F_{eq3}]$
(6.3-126)	$M_{XC3} = M_{XB3}$
(6.3-127)	$M_{YC3} = -F_{6Z1} * d_2 + M_{YB3}$
(6.3-128)	$M_{ZC3} = -F_6 * \sin \alpha_3 * d_2$
(6.3-135)	$R_{XC4} = F_8 * \cos \alpha_4$
(6.3-136)	$R_{YC4} = F_8 * \sin \alpha_4$
(6.3-137)	$R_{ZC4} = F_{8Z1}$
(6.3-138)	$M_{XC4} = M_{XB4}$
(6.3-139)	$M_{YC4} = -F_{8Z1} * d_2 + M_{YB4}$
(6.3-140)	$M_{ZC4} = -F_8 * \sin \alpha_4 * d_2$

**COSTILLA INFERIOR: Lado izquierdo**

(6.3-141)	$F_{1X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq1'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{1'}) * \frac{\sin(\theta_{1'})}{\cos(\theta_{1'})} + \sin(90^\circ - \theta_{1'}) \right]$
(6.3-142)	$F_{1X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq1'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{1'}) * \frac{\sin(\theta_{1'})}{\cos(\theta_{1'})} - \sin(90^\circ - \theta_{1'}) \right]$
(6.3-143)	$F_{1Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq1'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{1'}) - \sin(90^\circ - \theta_{1'}) * \frac{\cos(\theta_{1'})}{\sin(\theta_{1'})} \right]$
(6.3-144)	$F_{1Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq1'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{1'}) + \sin(90^\circ - \theta_{1'}) * \frac{\cos(\theta_{1'})}{\sin(\theta_{1'})} \right]$
(6.3-145)	$F_{1Z1'} = F_{1Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq1'} * \sin \beta$
(6.3-146)	$M_{XO1'} = - \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq1'} * \sin \beta \right\} * m_1 * \cos(\theta_{1'}) + F_{eq1'} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \cos(\theta_{1'}) = 0$
(6.3-147)	$M_{YO1'} = - \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq1'} * \sin \beta \right\} * m_1 * \sin(\theta_{1'}) + F_{eq1'} * \sin(\beta) * \frac{m_1}{2} * \sin(\theta_{1'}) = 0$
(6.3-148)	$F_{3X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq2'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{2'}) * \frac{\sin(\theta_{2'})}{\cos(\theta_{2'})} + \sin(90^\circ - \theta_{2'}) \right]$
(6.3-149)	$F_{3X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq2'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{2'}) * \frac{\sin(\theta_{2'})}{\cos(\theta_{2'})} - \sin(90^\circ - \theta_{2'}) \right]$
(6.3-150)	$F_{3Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq2'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{2'}) - \sin(90^\circ - \theta_{2'}) * \frac{\cos(\theta_{2'})}{\sin(\theta_{2'})} \right]$
(6.3-151)	$F_{3Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq2'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{2'}) + \sin(90^\circ - \theta_{2'}) * \frac{\cos(\theta_{2'})}{\sin(\theta_{2'})} \right]$
(6.3-152)	$F_{3Z2'} = \left[ F_{eq2'} * \sin(\beta) * \frac{m_2}{2} * \cos(\theta_{2'}) \right] / [m_2 * \cos(\theta_{2'})] = \frac{1}{2} * F_{eq2'} * \sin(\beta)$
(6.3-153)	$F_{3Z1'} = - \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq2'} * \sin(\beta) \right\} + F_{eq2'} * \sin \beta = \frac{1}{2} * F_{eq2'} * \sin(\beta)$
(6.3-154)	$F_{2'} = \frac{-F_{3X1'} + F_{1X2'}}{\sin \alpha_1'}$
(6.3-155)	$F_{2Z2'} = F_{3Z1'} + F_{1Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq2'} + F_{eq1'}]$
(6.3-156)	$F_{2Z1'} = F_{2Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq2'} + F_{eq1'}]$
(6.3-157)	$M_{XB1'} = -F_{2Z2'} * b_1 * \cos \alpha_1'$
(6.3-158)	$M_{YB1'} = -F_{2Z2'} * b_1 * \sin \alpha_1'$
(6.3-159)	$F_{5X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq3'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{3'}) * \frac{\sin(\theta_{3'})}{\cos(\theta_{3'})} + \sin(90^\circ - \theta_{3'}) \right]$
(6.3-160)	$F_{5X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq3'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{3'}) * \frac{\sin(\theta_{3'})}{\cos(\theta_{3'})} - \sin(90^\circ - \theta_{3'}) \right]$
(6.3-161)	$F_{5Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq3'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{3'}) - \sin(90^\circ - \theta_{3'}) * \frac{\cos(\theta_{3'})}{\sin(\theta_{3'})} \right]$
(6.3-162)	$F_{5Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq3'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{3'}) + \sin(90^\circ - \theta_{3'}) * \frac{\cos(\theta_{3'})}{\sin(\theta_{3'})} \right]$
(6.3-163)	$F_{5Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq3'} * \sin(\beta)$

(6.3-164)	$F_{5Z1'} = \frac{1}{2} * F_{eq3'} * \sin(\beta)$
(6.3-165)	$F_{4'} = \frac{-F_{5X1'} + F_{3X2'}}{\sin \alpha_{2'}}$
(6.3-166)	$F_{4ZZ'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq3'} + F_{eq2'}]$
(6.3-167)	$F_{4Z1'} = F_{4Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq3'} + F_{eq2'}]$
(6.3-168)	$M_{XB2'} = -\frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{2'} * [F_{eq3'} + F_{eq2'}]$
(6.3-169)	$M_{YB2'} = -\frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{2'} * [F_{eq3'} + F_{eq2'}]$
(6.3-170)	$F_{7X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq4'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{4'}) * \frac{\sin(\theta_{4'})}{\cos(\theta_{4'})} + \sin(90^\circ - \theta_{4'}) \right]$
(6.3-171)	$F_{7X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq4'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{4'}) * \frac{\sin(\theta_{4'})}{\cos(\theta_{4'})} - \sin(90^\circ - \theta_{4'}) \right]$
(6.3-172)	$F_{7Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq4'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{4'}) - \sin(90^\circ - \theta_{4'}) * \frac{\sin(\theta_{4'})}{\cos(\theta_{4'})} \right]$
(6.3-173)	$F_{7Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq4'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{4'}) + \sin(90^\circ - \theta_{4'}) * \frac{\sin(\theta_{4'})}{\cos(\theta_{4'})} \right]$
(6.3-174)	$F_{7Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq4'} * \sin(\beta)$
(6.3-175)	$F_{7Z1'} = \frac{1}{2} * F_{eq4'} * \sin(\beta)$
(6.3-176)	$F_{6'} = \frac{[+F_{7X1'} - F_{5X2'}]}{\cos \alpha_{3'}}$
(6.3-177)	$F_{6ZZ'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq4'} + F_{eq3'}]$
(6.3-178)	$F_{6Z1'} = F_{6Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq4'} + F_{eq3'}]$
(6.3-179)	$M_{XB3'} = -\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{3'} * [F_{eq4'} + F_{eq3'}]$
(6.3-180)	$M_{YB3'} = +\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{3'} * [F_{eq4'} + F_{eq3'}]$
(6.3-181)	$F_{8'} = \frac{[-F_{7X2'}]}{\cos \alpha_{4'}}$
(6.3-182)	$F_{8Z2'} = F_{7Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq4'} * \sin(\beta)$
(6.3-183)	$F_{8Z1'} = F_{8Z2'} = F_{7Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq4'} * \sin(\beta)$
(6.3-184)	$M_{XB4'} = -\frac{b_4}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{4'} * F_{eq4'}$
(6.3-185)	$M_{YB4'} = +\frac{b_4}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{4'} * F_{eq4'}$
(6.3-186)	$R_{XC1'} = F_{2'} * \sin \alpha_{1'}$
(6.3-187)	$R_{YC1'} = F_{2'} * \cos \alpha_{1'}$

(6.3-188)	$R_{ZC1'} = F_{2Z1'}$
(6.3-189)	$M_{XC1'} = -F_{2Z1'} * d_2 + M_{XB1'}$
(6.3-190)	$M_{YC1'} = M_{YB1'}$
(6.3-191)	$M_{ZC1'} = +F_{2'} * \sin \alpha_{1'} * d_2$
(6.3-192)	$R_{XC2'} = F_{4'} * \sin \alpha_{2'}$
(6.3-193)	$R_{YC2'} = F_{4'} * \cos \alpha_{2'}$
(6.3-194)	$R_{ZC2'} = F_{4Z1'}$
(6.3-195)	$M_{XC2'} = -F_{4Z1'} * d_2 + M_{XB2'}$
(6.3-196)	$M_{YC2'} = M_{YB2'}$
(6.3-197)	$M_{ZC2'} = +F_{4'} * \sin \alpha_{2'} * d_2$
(6.3-198)	$R_{XC3'} = F_{6'} * \cos \alpha_{3'}$
(6.3-199)	$R_{YC3'} = F_{6'} * \sin \alpha_{3'}$
(6.3-200)	$R_{ZC3'} = F_{6Z1'}$
(6.3-201)	$M_{XC3'} = M_{XB3'}$
(6.3-202)	$M_{YC3'} = +F_{6Z1'} * d_2 + M_{YB3'}$
(6.3-203)	$M_{ZC3'} = +F_{6'} * \sin \alpha_{3'} * d_2$
(6.3-204)	$R_{XC4'} = F_{8'} * \cos \alpha_{4'}$
(6.3-205)	$R_{YC4'} = F_{8'} * \sin \alpha_{4'}$
(6.3-206)	$R_{ZC4'} = F_{8Z1'}$
(6.3-207)	$M_{XC4'} = M_{XB4'}$
(6.3-208)	$M_{YC4'} = +F_{8Z1'} * d_2 + M_{YB4'}$
(6.3-209)	$M_{ZC4'} = +F_{8'} * \sin \alpha_{4'} * d_2$

### COSTILLA INFERIOR: Piezas centrales

(6.3-216)	$R_{XE1} = -R_{XC1} - R_{XC2} + R_{XC3} + R_{XC4} + R_{XC1'} + R_{XC2'} - R_{XC3'} - R_{XC4'}$
(6.3-217)	$R_{YE1} = R_{YC1} + R_{YC2} + R_{YC3} + R_{YC4} + R_{YC1'} + R_{YC2'} + R_{YC3'} + R_{YC4'}$
(6.3-218)	$R_{ZE1} = -R_{ZC1} - R_{ZC2} - R_{ZC3} - R_{ZC4} - R_{ZC1'} - R_{ZC2'} - R_{ZC3'} - R_{ZC4'}$
(6.3-219)	$M_{XE1} = -R_{ZC3} * y_{C3} - R_{ZC4} * y_{C4} - R_{ZC3'} * y_{C3'} - R_{ZC4'} * y_{C4'} - M_{XC1} - M_{XC2} - M_{XC3} - M_{XC4} + M_{XC1'} + M_{XC2'} + M_{XC3'} + M_{XC4'}$
(6.3-220)	$M_{YE1} = -R_{ZC1} * x_{C1} - R_{ZC2} * x_{C2} - R_{ZC3} * x_{C3} - R_{ZC4} * x_{C4} + R_{ZC1'} *  x_{C1'}  + R_{ZC2'} *  x_{C2'}  + R_{ZC3'} *  x_{C3'}  + R_{ZC4'} *  x_{C4'}  - M_{YC1} - M_{YC2} - M_{YC3} - M_{YC4} - M_{YC1'} - M_{YC2'} - M_{YC3'} - M_{YC4'}$
(6.3-221)	$M_{ZE1} = -R_{YC1} * x_{C1} - R_{YC2} * x_{C2} - R_{YC3} * x_{C3} - R_{XC3} * y_{C3} - R_{YC4} * x_{C4} - R_{XC4} * y_{C4} + R_{YC1'} *  x_{C1'}  + R_{YC2'} *  x_{C2'}  + R_{YC3'} *  x_{C3'}  + R_{XC3'} * y_{C3'} + R_{YC4'} *  x_{C4'}  + R_{XC4'} * y_{C4'} - M_{ZC1} - M_{ZC2} - M_{ZC3} - M_{ZC4} - M_{ZC1'} - M_{ZC2'} - M_{ZC3'} - M_{ZC4'}$
(6.3-228)	$R_{XD1} = F_{1X1} - F_{1X1'} + R_{XE1}$
(6.3-229)	$R_{YD1} = F_{1Y1} + F_{1Y1'} + R_{YE1}$
(6.3-230)	$R_{ZD1} = F_{1Z1} + F_{1Z1'} - R_{ZE1}$
(6.3-231)	$M_{XD1} = -F_{1Z1} * d_1 - F_{1Z1'} * d_1 + R_{ZD1} * y_{D1} + M_{XO1} - M_{XO1'} + M_{XE1}$
(6.3-232)	$M_{YD1} = -F_{1Z1} * x_{O1} + F_{1Z1'} *  x_{O1'}  + M_{YO1} + M_{YO1'} + M_{YE1}$
(6.3-233)	$M_{ZD1} = F_{1X1} * d_1 + F_{1Y1} * x_{O1} - F_{1X1'} * d_1 - F_{1Y1'} *  x_{O1'}  - R_{XD1} * y_{D1} - M_{ZE1}$

### COSTILLA MEDIA: Lado derecho

(6.4-10)	$F_{11X2} = \frac{1}{2} * F_{eq11} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}) * \frac{\sin(\theta_{11})}{\cos(\theta_{11})} - \sin(90^\circ - \theta_{11}) \right]$
(6.4-11)	$F_{11X1} = \frac{1}{2} * F_{eq11} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}) * \frac{\sin(\theta_{11})}{\cos(\theta_{11})} + \sin(90^\circ - \theta_{11}) \right]$
(6.4-12)	$F_{11Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq11} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}) + \sin(90^\circ - \theta_{11}) * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})} \right]$
(6.4-13)	$F_{11Y2} = F_{11X2} * \frac{\cos(\theta_{11})}{\sin(\theta_{11})}$
(6.4-14)	$F_{11Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq11} * \sin \beta$
(6.4-14)	$F_{11Z2} = F_{11Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq11} * \sin \beta$

(6.4-15)	$M_{XO11} = 0$
(6.4-16)	$M_{YO11} = 0$
(6.4-23)	$F_{13X2} = \frac{1}{2} * F_{eq12} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}) * \frac{\sin(\theta_{12})}{\cos(\theta_{12})} - \sin(90^\circ - \theta_{12}) \right]$
(6.4-24)	$F_{13X1} = \frac{1}{2} * F_{eq12} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}) * \frac{\sin(\theta_{12})}{\cos(\theta_{12})} + \sin(90^\circ - \theta_{12}) \right]$
(6.4-25)	$F_{13Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq12} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}) + \sin(90^\circ - \theta_{12}) * \frac{\cos(\theta_{12})}{\sin(\theta_{12})} \right]$
(6.4-26)	$F_{13Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq12} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}) - \sin(90^\circ - \theta_{12}) * \frac{\cos(\theta_{12})}{\sin(\theta_{12})} \right]$
(6.4-27)	$F_{13Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq12} * \sin(\beta)$
(6.4-28)	$F_{13Z1} = F_{13Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq12} * \sin(\beta)$
(6.4-31)	$F_{12} = \frac{-F_{13X1} + F_{11X2}}{\sin \alpha_{11}}$
(6.4-32)	$F_{12Z2} = F_{13Z1} + F_{11Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq12} + F_{eq11}]$
(6.4-36)	$F_{12Z1} = F_{12Z2}$
(6.4-37)	$M_{XB11} = F_{12Z2} * b_1 * \cos \alpha_{11} = \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{11} * [F_{eq12} + F_{eq11}]$
(6.4-38)	$M_{YB11} = F_{12Z2} * b_1 * \sin \alpha_{11} = \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{11} * [F_{eq12} + F_{eq11}]$
(6.4-45)	$F_{15X2} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}) * \frac{\sin(\theta_{13})}{\cos(\theta_{13})} - \sin(90^\circ - \theta_{13}) \right]$
(6.4-46)	$F_{15X1} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}) * \frac{\sin(\theta_{13})}{\cos(\theta_{13})} + \sin(90^\circ - \theta_{13}) \right]$
(6.4-47)	$F_{15Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}) + \sin(90^\circ - \theta_{13}) * \frac{\cos(\theta_{13})}{\sin(\theta_{13})} \right]$
(6.4-48)	$F_{15Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}) - \sin(90^\circ - \theta_{13}) * \frac{\cos(\theta_{13})}{\sin(\theta_{13})} \right]$
(6.4-49)	$F_{15Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \sin(\beta)$
(6.4-50)	$F_{15Z1} = F_{15Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \sin(\beta)$
(6.4-53)	$F_{14} = \frac{F_{13X2} - F_{15X1}}{\sin \alpha_2}$
(6.4-54)	$F_{14Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq13} + F_{eq12}]$
(6.4-58)	$F_{14Z1} = F_{14Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq13} + F_{eq12}]$
(6.4-59)	$M_{XB12} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{12} * [F_{eq13} + F_{eq12}]$
(6.4-60)	$M_{YB12} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{12} * [F_{eq13} + F_{eq12}]$

(6.4-85)	$F_{16} = \frac{[-F_{15X2}]}{\cos \alpha_{13}}$
(6.4-86)	$F_{16Z2} = F_{15Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \sin(\beta)$
(6.4-90)	$F_{16Z1} = F_{16Z2} = F_{5Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq13} * \sin(\beta)$
(6.4-91)	$M_{XB13} = \frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{13} * F_{eq13}$
(6.4-92)	$M_{YB13} = -\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{13} * F_{eq13}$
(6.4-99)	$R_{XC11} = F_{12} * \sin \alpha_{11}$
(6.4-100)	$R_{YC11} = F_{12} * \cos \alpha_{11}$
(6.4-101)	$R_{ZC11} = F_{12Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq12} + F_{eq11}]$
(6.4-102)	$M_{XC11} = F_{12Z1} * d_2 + M_{XB11}$
(6.4-103)	$M_{YC11} = M_{YB11}$
(6.4-104)	$M_{ZC11} = -F_{12} * \sin \alpha_{11} * d_2$
(6.4-111)	$R_{XC12} = F_{14} * \sin \alpha_{12}$
(6.4-112)	$R_{YC12} = F_{14} * \cos \alpha_{12}$
(6.4-113)	$R_{ZC12} = F_{14Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq13} + F_{eq12}]$
(6.4-114)	$M_{XC12} = F_{14Z1} * d_2 + M_{XB12}$
(6.4-115)	$M_{YC12} = M_{YB12}$
(6.4-116)	$M_{ZC12} = -F_{14} * \sin \alpha_{12} * d_2$
(6.4-123)	$R_{XC13} = F_{16} * \cos \alpha_{13}$
(6.4-124)	$R_{YC13} = F_{16} * \sin \alpha_{13}$
(6.4-125)	$R_{ZC13} = F_{16Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq14} + F_{eq13}]$
(6.4-126)	$M_{XC13} = M_{XB13}$
(6.4-127)	$M_{YC13} = -F_{16Z1} * d_2 + M_{YB13}$
(6.4-128)	$M_{ZC13} = -F_{16} * \sin \alpha_{13} * d_2$

**COSTILLA MEDIA: Lado izquierdo**

(6.4-141)	$F_{11X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq11'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}') * \frac{\sin(\theta_{11}')}{\cos(\theta_{11}')} + \sin(90^\circ - \theta_{11}') \right]$
(6.4-142)	$F_{11X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq11'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}') * \frac{\sin(\theta_{11}')}{\cos(\theta_{11}')} - \sin(90^\circ - \theta_{11}') \right]$
(6.4-143)	$F_{11Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq11'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}') - \sin(90^\circ - \theta_{11}') * \frac{\cos(\theta_{11}')}{\sin(\theta_{11}')} \right]$
(6.4-144)	$F_{11Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq11'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{11}') + \sin(90^\circ - \theta_{11}') * \frac{\cos(\theta_{11}')}{\sin(\theta_{11}')} \right]$
(6.4-145)	$F_{11Z1'} = F_{11Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq11'} * \sin \beta$
(6.4-146)	$M_{XO11'} = 0$
(6.4-147)	$M_{YO11'} = 0$
(6.4-148)	$F_{13X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq12'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}') * \frac{\sin(\theta_{12}')}{\cos(\theta_{12}')} + \sin(90^\circ - \theta_{12}') \right]$
(6.4-149)	$F_{13X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq12'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}') * \frac{\sin(\theta_{12}')}{\cos(\theta_{12}')} - \sin(90^\circ - \theta_{12}') \right]$
(6.4-150)	$F_{13Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq12'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}') - \sin(90^\circ - \theta_{12}') * \frac{\cos(\theta_{12}')}{\sin(\theta_{12}')} \right]$
(6.4-151)	$F_{13Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq12'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{12}') + \sin(90^\circ - \theta_{12}') * \frac{\cos(\theta_{12}')}{\sin(\theta_{12}')} \right]$
(6.4-152)	$F_{13Z2'} = \left[ F_{eq12'} * \sin(\beta) * \frac{m_2}{2} * \cos(\theta_{12}') \right] / [m_2 * \cos(\theta_{12}')] = \frac{1}{2} * F_{eq12'} * \sin(\beta)$
(6.4-153)	$F_{13Z1'} = - \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq12'} * \sin(\beta) \right\} + F_{eq12'} * \sin \beta = \frac{1}{2} * F_{eq12'} * \sin(\beta)$
(6.4-154)	$F_{12'} = \frac{-F_{13X1'} + F_{11X2'}}{\sin \alpha_{11}'}$
(6.4-155)	$F_{12Z2'} = F_{13Z1'} + F_{11Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq12'} + F_{eq11'}]$
(6.4-156)	$F_{12Z1'} = F_{12Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq12'} + F_{eq11'}]$
(6.4-157)	$M_{XB11'} = -F_{12Z2'} * b_1 * \cos \alpha_{11}'$
(6.4-158)	$M_{YB11'} = -F_{12Z2'} * b_1 * \sin \alpha_{11}'$
(6.4-159)	$F_{15X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq13'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}') * \frac{\sin(\theta_{13}')}{\cos(\theta_{13}')} + \sin(90^\circ - \theta_{13}') \right]$
(6.4-160)	$F_{15X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq13'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}') * \frac{\sin(\theta_{13}')}{\cos(\theta_{13}')} - \sin(90^\circ - \theta_{13}') \right]$
(6.4-161)	$F_{15Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq13'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}') - \sin(90^\circ - \theta_{13}') * \frac{\cos(\theta_{13}')}{\sin(\theta_{13}')} \right]$
(6.4-162)	$F_{15Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq13'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{13}') + \sin(90^\circ - \theta_{13}') * \frac{\cos(\theta_{13}')}{\sin(\theta_{13}')} \right]$
(6.4-163)	$F_{15Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq13'} * \sin(\beta)$

(6.4-164)	$F_{15Z1'} = F_{15Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq13'} * \sin(\beta)$
(6.4-165)	$F_{14'} = \frac{-F_{15X1'} + F_{13X2'}}{\sin \alpha_{12'}}$
(6.4-166)	$F_{14Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq13'} + F_{eq12'}]$
(6.4-167)	$F_{14Z1'} = F_{14Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq13'} + F_{eq12'}]$
(6.4-168)	$M_{XB12'} = -\frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{12'} * [F_{eq13'} + F_{eq12'}]$
(6.4-169)	$M_{YB12'} = -\frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{12'} * [F_{eq13'} + F_{eq12'}]$
(6.4-181)	$F_{16'} = \frac{[-F_{15X2'}]}{\cos \alpha_{13'}}$
(6.4-182)	$F_{16Z2'} = F_{16Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq13'} * \sin(\beta)$
(6.4-183)	$F_{16Z1'} = F_{16Z2'} = F_{5Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq13'} * \sin(\beta)$
(6.4-184)	$M_{XB13'} = -\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{13'} * F_{eq13'}$
(6.4-185)	$M_{YB13'} = +\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{13'} * F_{eq13'}$
(6.4-186)	$R_{XC11'} = F_{12'} * \sin \alpha_{11'}$
(6.4-187)	$R_{YC11'} = F_{12'} * \cos \alpha_{11'}$
(6.4-188)	$R_{ZC11'} = F_{12Z1'}$
(6.4-189)	$M_{XC11'} = -F_{12Z1'} * d_2 + M_{XB11'}$
(6.4-190)	$M_{YC11'} = M_{YB11'}$
(6.4-191)	$M_{ZC11'} = +F_{12'} * \sin \alpha_{11'} * d_2$
(6.4-192)	$R_{XC12'} = F_{14'} * \sin \alpha_{12'}$
(6.4-193)	$R_{YC12'} = F_{14'} * \cos \alpha_{12'}$
(6.4-194)	$R_{ZC12'} = F_{14Z1'}$
(6.4-195)	$M_{XC12'} = -F_{14Z1'} * d_2 + M_{XB12'}$
(6.4-196)	$M_{YC12'} = M_{YB12'}$
(6.4-197)	$M_{ZC12'} = +F_{14'} * \sin \alpha_{12'} * d_2$
(6.4-198)	$R_{XC13'} = F_{16'} * \cos \alpha_{13'}$

(6.4-199)	$R_{YC13'} = F_{16'} * \sin \alpha_{13'}$
(6.4-200)	$R_{ZC13'} = F_{16Z1'}$
(6.4-201)	$M_{XC13'} = M_{XB13'}$
(6.4-202)	$M_{YC13'} = +F_{16Z1'} * d_2 + M_{YB13'}$
(6.4-203)	$M_{ZC13'} = +F_{16'} * \sin \alpha_{13'} * d_2$

### COSTILLA MEDIA: Piezas centrales

(6.4-216)	$R_{XE11} = -R_{XC11} - R_{XC12} + R_{XC13} + R_{XC11'} + R_{XC12'} - R_{XC13'}$
(6.4-217)	$R_{YE11} = R_{YC11} + R_{YC12} + R_{YC13} + R_{YC11'} + R_{YC12'} + R_{YC13'}$
(6.4-218)	$R_{ZE11} = -R_{ZC11} - R_{ZC12} - R_{ZC13} - R_{ZC11'} - R_{ZC12'} - R_{ZC13'}$
(6.4-219)	$M_{XE11} = -R_{ZC13} * y_{C13} - R_{ZC13'} * y_{C13'} - M_{XC11} - M_{XC12} - M_{XC13} + M_{XC11'} + M_{XC12'} + M_{XC13'}$
(6.4-220)	$M_{YE11} = -R_{ZC11} * x_{C11} - R_{ZC12} * x_{C12} - R_{ZC13} * x_{C13} + R_{ZC11'} *  x_{C11'}  + R_{ZC12'} *  x_{C12'}  + R_{ZC13'} *  x_{C13'}  - M_{YC11} - M_{YC12} - M_{YC13} - M_{YC11'} - M_{YC12'} - M_{YC13'}$
(6.4-221)	$M_{ZE11} = -R_{YC11} * x_{C11} - R_{YC12} * x_{C12} - R_{YC13} * x_{C13} - R_{XC13} * y_{C13} + R_{YC11'} *  x_{C11'}  + R_{YC12'} *  x_{C12'}  + R_{YC13'} *  x_{C13'}  + R_{XC13'} * y_{C13'} - M_{ZC11} - M_{ZC12} - M_{ZC13} - M_{ZC11'} - M_{ZC12'} - M_{ZC13'}$
(6.4-228)	$R_{XD11} = F_{11X1} - F_{11X1'} + R_{XE11}$
(6.4-229)	$R_{YD11} = F_{11Y1} + F_{11Y1'} + R_{YE11}$
(6.4-230)	$R_{ZD11} = F_{11Z1} + F_{11Z1'} - R_{ZE11}$
(6.4-231)	$M_{XD11} = -F_{11Z1} * d_1 - F_{11Z1'} * d_1 + R_{ZD11} * y_{D11} + M_{XO11} - M_{XO11'} + M_{XE11}$
(6.4-232)	$M_{YD11} = -F_{11Z1} * x_{O11} + F_{11Z1'} *  x_{O11'}  + M_{YO11} + M_{YO11'} + M_{YE11}$
(6.4-233)	$M_{ZD11} = F_{11X1} * d_1 + F_{11Y1} * x_{O1} - F_{11X1'} * d_1 - F_{11Y1'} *  x_{O11'}  - R_{XD11} * y_{D11} - M_{ZE11}$

**COSTILLA SUPERIOR: Lado derecho**

(6.5-10)	$F_{21X2} = \frac{1}{2} * F_{eq21} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}) * \frac{\sin(\theta_{21})}{\cos(\theta_{21})} - \sin(90^\circ - \theta_{21}) \right]$
(6.5-11)	$F_{21X1} = \frac{1}{2} * F_{eq21} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}) * \frac{\sin(\theta_{21})}{\cos(\theta_{21})} + \sin(90^\circ - \theta_{21}) \right]$
(6.5-12)	$F_{21Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq21} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}) + \sin(90^\circ - \theta_{21}) * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})} \right]$
(6.5-13)	$F_{21Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq21} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}) - \sin(90^\circ - \theta_{21}) * \frac{\cos(\theta_{21})}{\sin(\theta_{21})} \right]$
(6.5-14)	$F_{21Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq21} * \sin \beta$
(6.5-14)	$F_{21Z2} = F_{21Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq21} * \sin \beta$
(6.5-15)	$M_{X021} = 0$
(6.5-16)	$M_{Y021} = 0$
(6.5-23)	$F_{23X2} = \frac{1}{2} * F_{eq22} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22}) * \frac{\sin(\theta_{22})}{\cos(\theta_{22})} - \sin(90^\circ - \theta_{22}) \right]$
(6.5-24)	$F_{23X1} = \frac{1}{2} * F_{eq22} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22}) * \frac{\sin(\theta_{22})}{\cos(\theta_{22})} + \sin(90^\circ - \theta_{22}) \right]$
(6.5-25)	$F_{23Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq22} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22}) + \sin(90^\circ - \theta_{22}) * \frac{\cos(\theta_{22})}{\sin(\theta_{22})} \right]$
(6.5-26)	$F_{23Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq22} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22}) - \sin(90^\circ - \theta_{22}) * \frac{\cos(\theta_{22})}{\sin(\theta_{22})} \right]$
(6.5-27)	$F_{23Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq22} * \sin(\beta)$
(6.5-28)	$F_{23Z1} = F_{23Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq22} * \sin(\beta)$
(6.5-31)	$F_{22} = \frac{-F_{23X1} + F_{21X2}}{\sin \alpha_{21}}$
(6.5-32)	$F_{22Z2} = F_{23Z1} + F_{21Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq22} + F_{eq21}]$
(6.5-36)	$F_{22Z1} = F_{22Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq22} + F_{eq21}]$
(6.5-37)	$M_{XB21} = F_{22Z2} * b_1 * \cos \alpha_{21} = \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{21} * [F_{eq22} + F_{eq21}]$
(6.5-38)	$M_{YB21} = F_{22Z2} * b_1 * \sin \alpha_{21} = \frac{b_1}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{21} * [F_{eq22} + F_{eq21}]$
(6.5-45)	$F_{25X2} = \frac{1}{2} * F_{eq23} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23}) * \frac{\sin(\theta_{23})}{\cos(\theta_{23})} - \sin(90^\circ - \theta_{23}) \right]$
(6.5-46)	$F_{25X1} = \frac{1}{2} * F_{eq23} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23}) * \frac{\sin(\theta_{23})}{\cos(\theta_{23})} + \sin(90^\circ - \theta_{23}) \right]$
(6.5-47)	$F_{25Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq23} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23}) + \sin(90^\circ - \theta_{23}) * \frac{\cos(\theta_{23})}{\sin(\theta_{23})} \right]$
(6.5-48)	$F_{25Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq23} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23}) - \sin(90^\circ - \theta_{23}) * \frac{\cos(\theta_{23})}{\sin(\theta_{23})} \right]$

(6.5-49)	$F_{25Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq23} * \sin(\beta)$
(6.5-50)	$F_{25Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq23} * \sin(\beta)$
(6.5-53)	$F_{24} = \frac{F_{23X2} - F_{25X1}}{\sin \alpha_2}$
(6.5-54)	$F_{24Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq23} + F_{eq22}]$
(6.5-58)	$F_{24Z1} = F_{24Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq23} + F_{eq22}]$
(6.5-59)	$M_{XB22} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{22} * [F_{eq23} + F_{eq22}]$
(6.5-60)	$M_{YB22} = \frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{22} * [F_{eq23} + F_{eq22}]$
(6.5-67)	$F_{27X2} = \frac{1}{2} * F_{eq24} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24}) * \frac{\sin(\theta_{24})}{\cos(\theta_{24})} - \sin(90^\circ - \theta_{24}) \right]$
(6.5-68)	$F_{27X1} = \frac{1}{2} * F_{eq24} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24}) * \frac{\sin(\theta_{24})}{\cos(\theta_{24})} + \sin(90^\circ - \theta_{24}) \right]$
(6.5-69)	$F_{27Y1} = \frac{1}{2} * F_{eq24} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24}) + \sin(90^\circ - \theta_{24}) * \frac{\cos(\theta_{24})}{\sin(\theta_{24})} \right]$
(6.5-70)	$F_{27Y2} = \frac{1}{2} * F_{eq24} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24}) - \sin(90^\circ - \theta_{24}) * \frac{\cos(\theta_{24})}{\sin(\theta_{24})} \right]$
(6.5-71)	$F_{27Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq24} * \sin(\beta)$
(6.5-72)	$F_{27Z1} = \frac{1}{2} * F_{eq24} * \sin(\beta)$
(6.5-75)	$F_{26} = \frac{[+F_{27X1} - F_{25X2}]}{\cos \alpha_{23}}$
(6.5-76)	$F_{26Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq24} + F_{eq23}]$
(6.5-80)	$F_{26Z1} = F_{26Z2} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq24} + F_{eq23}]$
(6.5-81)	$M_{XB23} = \frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{23} * [F_{eq24} + F_{eq23}]$
(6.5-82)	$M_{YB23} = -\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{23} * [F_{eq24} + F_{eq23}]$
(6.5-85)	$F_{28} = \frac{[-F_{7X2}]}{\cos \alpha_4}$
(6.5-86)	$F_{28Z2} = F_{27Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq24} * \sin(\beta)$
(6.5-90)	$F_{28Z1} = F_{28Z2} = F_{27Z2} = \frac{1}{2} * F_{eq24} * \sin(\beta)$
(6.5-91)	$M_{XB24} = \frac{b_4}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{24} * F_{eq24}$
(6.5-92)	$M_{YB24} = -\frac{b_4}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{24} * F_{eq24}$
(6.5-99)	$R_{XC21} = F_{22} * \sin \alpha_{21}$

(6.5-100)	$R_{YC21} = F_{22} * \cos \alpha_{21}$
(6.5-101)	$R_{ZC21} = F_{22Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq22} + F_{eq21}]$
(6.5-102)	$M_{XC21} = F_{22Z1} * d_2 + M_{XB21}$
(6.5-103)	$M_{YC21} = M_{YB21}$
(6.5-104)	$M_{ZC21} = -F_{22} * \sin \alpha_{21} * d_2$
(6.5-111)	$R_{XC22} = F_{24} * \sin \alpha_{22}$
(6.5-112)	$R_{YC22} = F_{24} * \cos \alpha_{22}$
(6.5-113)	$R_{ZC22} = F_{24Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq23} + F_{eq22}]$
(6.5-114)	$M_{XC22} = F_{24Z1} * d_2 + M_{XB22}$
(6.5-115)	$M_{YC22} = M_{YB22}$
(6.5-116)	$M_{ZC22} = -F_{24} * \sin \alpha_{22} * d_2$
(6.5-123)	$R_{XC23} = F_{26} * \cos \alpha_{23}$
(6.5-124)	$R_{YC23} = F_{26} * \sin \alpha_{23}$
(6.5-125)	$R_{ZC23} = F_{26Z1} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq24} + F_{eq23}]$
(6.5-126)	$M_{XC23} = M_{XB23}$
(6.5-127)	$M_{YC23} = -F_{26Z1} * d_2 + M_{YB23}$
(6.5-128)	$M_{ZC23} = -F_{26} * \sin \alpha_{23} * d_2$
(6.5-135)	$R_{XC24} = F_{28} * \cos \alpha_{24}$
(6.5-136)	$R_{YC24} = F_{28} * \sin \alpha_{24}$
(6.5-137)	$R_{ZC24} = F_{28Z1}$
(6.5-138)	$M_{XC24} = M_{XB24}$
(6.5-139)	$M_{YC24} = -F_{28Z1} * d_2 + M_{YB24}$
(6.5-140)	$M_{ZC24} = -F_{28} * \sin \alpha_{24} * d_2$
(6.5-215)	$R_{XI21} = R_{XH21} = F_1 = 2 * P * \sin(\Delta\alpha)$

(6.5-216)	$R_{YG21} = 0$
(6.5-217)	$R_{ZG21} = 0$
(6.5-218)	$M_{YG21} = 0$
(6.5-219)	$M_{ZG21} = -R_{XI21} *  y_{H21} - y_{G21} $
(6.5-225)	$R_{XJ21} = R_{XI21}$
(6.5-226)	$R_{YF21} = R_{YG21} = 0$
(6.5-227)	$R_{ZF21} = R_{ZG21} = 0$
(6.5-228)	$M_{YF21} = 0$
(6.5-229)	$M_{ZF21} = M_{ZG21}$

### COSTILLA SUPERIOR: Lado izquierdo

(6.5-141)	$F_{21X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq21'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}') * \frac{\sin(\theta_{21}')}{\cos(\theta_{21}')} + \sin(90^\circ - \theta_{21}') \right]$
(6.5-142)	$F_{21X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq21'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}') * \frac{\sin(\theta_{21}')}{\cos(\theta_{21}')} - \sin(90^\circ - \theta_{21}') \right]$
(6.5-143)	$F_{21Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq21'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}') - \sin(90^\circ - \theta_{21}') * \frac{\cos(\theta_{21}')}{\sin(\theta_{21}')} \right]$
(6.5-144)	$F_{21Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq21'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{21}') + \sin(90^\circ - \theta_{21}') * \frac{\cos(\theta_{21}')}{\sin(\theta_{21}')} \right]$
(6.5-145)	$F_{21Z1'} = F_{21Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq21'} * \sin \beta$
(6.5-146)	$M_{XO21'} = 0$
(6.5-147)	$M_{YO21'} = 0$
(6.5-148)	$F_{23X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq22'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22}') * \frac{\sin(\theta_{22}')}{\cos(\theta_{22}')} + \sin(90^\circ - \theta_{22}') \right]$
(6.5-149)	$F_{23X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq22'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22}') * \frac{\sin(\theta_{22}')}{\cos(\theta_{22}')} - \sin(90^\circ - \theta_{22}') \right]$
(6.5-150)	$F_{23Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq22'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22}') - \sin(90^\circ - \theta_{22}') * \frac{\cos(\theta_{22}')}{\sin(\theta_{22}')} \right]$
(6.5-151)	$F_{23Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq22'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{22}') + \sin(90^\circ - \theta_{22}') * \frac{\cos(\theta_{22}')}{\sin(\theta_{22}')} \right]$

(6.5-152)	$F_{23Z2'} = \left[ F_{eq22'} * \sin(\beta) * \frac{m_2}{2} * \cos(\theta_{22'}) \right] / [m_2 * \cos(\theta_{22'})] = \frac{1}{2} * F_{eq22'} * \sin(\beta)$
(6.5-153)	$F_{23Z1'} = - \left\{ \frac{1}{2} * F_{eq22'} * \sin(\beta) \right\} + F_{eq22'} * \sin \beta = \frac{1}{2} * F_{eq22'} * \sin(\beta)$
(6.5-154)	$F_{22'} = \frac{-F_{23X1'} + F_{21X2'}}{\sin \alpha_{21'}}$
(6.5-155)	$F_{22Z2'} = F_{23Z1'} + F_{21Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq22'} + F_{eq21'}]$
(6.5-156)	$F_{22Z1'} = F_{22Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq22'} + F_{eq21'}]$
(6.5-157)	$M_{XB21'} = -F_{22Z2'} * b_1 * \cos \alpha_{21'}$
(6.5-158)	$M_{YB21'} = -F_{22Z2'} * b_1 * \sin \alpha_{21'}$
(6.5-159)	$F_{25X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq23'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23'}) * \frac{\sin(\theta_{23'})}{\cos(\theta_{23'})} + \sin(90^\circ - \theta_{23'}) \right]$
(6.5-160)	$F_{25X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq23'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23'}) * \frac{\sin(\theta_{23'})}{\cos(\theta_{23'})} - \sin(90^\circ - \theta_{23'}) \right]$
(6.5-161)	$F_{25Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq23'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23'}) - \sin(90^\circ - \theta_{23'}) * \frac{\cos(\theta_{23'})}{\sin(\theta_{23'})} \right]$
(6.5-162)	$F_{25Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq23'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{23'}) + \sin(90^\circ - \theta_{23'}) * \frac{\cos(\theta_{23'})}{\sin(\theta_{23'})} \right]$
(6.5-163)	$F_{25Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq23'} * \sin(\beta)$
(6.5-164)	$F_{25Z1'} = \frac{1}{2} * F_{eq23'} * \sin(\beta)$
(6.5-165)	$F_{24'} = \frac{-F_{25X1'} + F_{23X2'}}{\sin \alpha_{22'}}$
(6.5-166)	$F_{24Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq23'} + F_{eq22'}]$
(6.5-167)	$F_{24Z1'} = F_{24Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq23'} + F_{eq22'}]$
(6.5-168)	$M_{XB22'} = -\frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{22'} * [F_{eq23'} + F_{eq22'}]$
(6.5-169)	$M_{YB22'} = -\frac{b_2}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{22'} * [F_{eq23'} + F_{eq22'}]$
(6.5-170)	$F_{27X2'} = \frac{1}{2} * F_{eq24'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24'}) * \frac{\sin(\theta_{24'})}{\cos(\theta_{24'})} + \sin(90^\circ - \theta_{24'}) \right]$
(6.5-171)	$F_{27X1'} = \frac{1}{2} * F_{eq24'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24'}) * \frac{\sin(\theta_{24'})}{\cos(\theta_{24'})} - \sin(90^\circ - \theta_{24'}) \right]$
(6.5-172)	$F_{27Y1'} = \frac{1}{2} * F_{eq24'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24'}) - \sin(90^\circ - \theta_{24'}) * \frac{\sin(\theta_{24'})}{\cos(\theta_{24'})} \right]$
(6.5-173)	$F_{27Y2'} = \frac{1}{2} * F_{eq24'} * \cos(\beta) * \left[ \cos(90^\circ - \theta_{24'}) + \sin(90^\circ - \theta_{24'}) * \frac{\sin(\theta_{24'})}{\cos(\theta_{24'})} \right]$
(6.5-174)	$F_{27Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq24'} * \sin(\beta)$
(6.5-175)	$F_{27Z1'} = \frac{1}{2} * F_{eq24'} * \sin(\beta)$

(6.5-176)	$F_{26'} = \frac{[+F_{27X1'} - F_{25X2'}]}{\cos \alpha_{23'}}$
(6.5-177)	$F_{26Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq24'} + F_{eq23'}]$
(6.5-178)	$F_{26Z1'} = F_{26Z2'} = \frac{1}{2} * \sin(\beta) * [F_{eq24'} + F_{eq23'}]$
(6.5-179)	$M_{XB23'} = -\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{23'} * [F_{eq24'} + F_{eq23'}]$
(6.5-180)	$M_{YB23'} = +\frac{b_3}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{23'} * [F_{eq24'} + F_{eq23'}]$
(6.5-181)	$F_{28'} = \frac{[-F_{27X2'}]}{\cos \alpha_{24'}}$
(6.5-182)	$F_{28Z2'} = F_{27Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq24'} * \sin(\beta)$
(6.5-183)	$F_{28Z1'} = F_{28Z2'} = F_{27Z2'} = \frac{1}{2} * F_{eq24'} * \sin(\beta)$
(6.5-184)	$M_{XB24'} = -\frac{b_4}{2} * \sin(\beta) * \sin \alpha_{24'} * F_{eq24'}$
(6.5-185)	$M_{YB24'} = +\frac{b_4}{2} * \sin(\beta) * \cos \alpha_{24'} * F_{eq24'}$
(6.5-186)	$R_{XC21'} = F_{22'} * \sin \alpha_{21'}$
(6.5-187)	$R_{YC21'} = F_{22'} * \cos \alpha_{21'}$
(6.5-188)	$R_{ZC21'} = F_{22Z1'}$
(6.5-189)	$M_{XC21'} = -F_{22Z1'} * d_2 + M_{XB21'}$
(6.5-190)	$M_{YC21'} = M_{YB21'}$
(6.5-191)	$M_{ZC21'} = +F_{22'} * \sin \alpha_{21'} * d_2$
(6.5-192)	$R_{XC22'} = F_{24'} * \sin \alpha_{22'}$
(6.5-193)	$R_{YC22'} = F_{24'} * \cos \alpha_{22'}$
(6.5-194)	$R_{ZC22'} = F_{24Z1'}$
(6.5-195)	$M_{XC22'} = -F_{24Z1'} * d_2 + M_{XB22'}$
(6.5-196)	$M_{YC22'} = M_{YB22'}$
(6.5-197)	$M_{ZC22'} = +F_{24'} * \sin \alpha_{22'} * d_2$
(6.5-198)	$R_{XC23'} = F_{26'} * \cos \alpha_{23'}$
(6.5-199)	$R_{YC23'} = F_{26'} * \sin \alpha_{23'}$

(6.5-200)	$R_{ZC23'} = F_{26Z1'}$
(6.5-201)	$M_{XC23'} = M_{XB23'}$
(6.5-202)	$M_{YC23'} = +F_{26Z1'} * d_2 + M_{YB23'}$
(6.5-203)	$M_{ZC23'} = +F_{26'} * \sin \alpha_{23'} * d_2$
(6.5-204)	$R_{XC24'} = F_{28'} * \cos \alpha_{24'}$
(6.5-205)	$R_{YC24'} = F_{28'} * \sin \alpha_{24'}$
(6.5-206)	$R_{ZC24'} = F_{28Z1'}$
(6.5-207)	$M_{XC24'} = M_{XB24'}$
(6.5-208)	$M_{YC24'} = +F_{28Z1'} * d_2 + M_{YB24'}$
(6.5-209)	$M_{ZC24'} = +F_{28'} * \sin \alpha_{24'} * d_2$
(6.5-235)	$R_{XI21'} = R_{XH21'} = F_1' = 2 * P * \sin(\Delta\alpha)$
(6.5-236)	$R_{YG21'} = 0$
(6.5-237)	$R_{ZG21'} = 0$
(6.5-238)	$M_{YG21'} = -R_{ZG21'} *  x_{G21} - x_{H21}  = 0$
(6.5-239)	$M_{ZG21'} = +R_{YG21'} *  x_{G21} - x_{H21}  + R_{XI21'} *  y_{H21} - y_{G21}  = +R_{XI21'} *  y_{H21} - y_{G21} $
(6.5-245)	$R_{XJ21'} = R_{XI21'}$
(6.5-246)	$R_{YF21'} = R_{YG21'} = 0$
(6.5-247)	$R_{ZF21'} = R_{ZG21'} = 0$
(6.5-248)	$M_{YF21'} = 0$
(6.5-249)	$M_{ZF21'} = M_{ZG21'}$

### COSTILLA SUPERIOR: Piezas centrales

(6.5-216)	$R_{XE21} = -R_{XC21} - R_{XC22} + R_{XC23} + R_{XC24} + R_{XC21'} + R_{XC22'} - R_{XC23'} - R_{XC24'} + R_{XJ21} - R_{XJ21'}$
(6.5-217)	$R_{YE21} = R_{YC21} + R_{YC22} + R_{YC23} + R_{YC24} + R_{YC21'} + R_{YC22'} + R_{YC23'} + R_{YC24'} + R_{YF21} + R_{YF21'}$
(6.5-218)	$R_{ZE21} = -R_{ZC21} - R_{ZC22} - R_{ZC23} - R_{ZC24} - R_{ZC21'} - R_{ZC22'} - R_{ZC23'} - R_{ZC24'} - R_{ZF21} - R_{ZF21'}$
(6.5-219)	$M_{XE21} = -R_{ZC23} * y_{C23} - R_{ZC24} * y_{C24} - R_{ZC23'} * y_{C23'} - R_{ZC24'} * y_{C24'} - M_{XC21} - M_{XC22} - M_{XC23} - M_{XC24} + M_{XC21'} + M_{XC22'}$ $+ M_{XC23'} + M_{XC24'} - R_{ZF21} * y_{F21} - R_{ZF21'} * y_{F21}$
(6.5-220)	$M_{YE21} = -R_{ZC21} * x_{C21} - R_{ZC22} * x_{C22} - R_{ZC23} * x_{C23} - R_{ZC24} * x_{C24} + R_{ZC21'} *  x_{C21'}  + R_{ZC22'} *  x_{C22'}  + R_{ZC23'} *  x_{C23'} $ $+ R_{ZC24'} *  x_{C24'}  - M_{YC21} - M_{YC22} - M_{YC23} - M_{YC24} - M_{YC21'} - M_{YC22'} - M_{YC23'} - M_{YC24'} - R_{ZF21} * x_{F21}$ $+ R_{ZF21'} *  x_{F21}  + M_{YF21} + M_{YF21'}$
(6.5-221)	$M_{ZE21} = -R_{YC21} * x_{C21} - R_{YC22} * x_{C22} - R_{YC23} * x_{C23} - R_{XC23} * y_{C23} - R_{YC24} * x_{C24} - R_{XC24} * y_{C24} + R_{YC21'} *  x_{C21'}  + R_{YC22'} *  x_{C22'} $ $+ R_{YC23'} *  x_{C23'}  + R_{XC23'} * y_{C23'} + R_{YC24'} *  x_{C24'}  + R_{XC24'} * y_{C24'} - M_{ZC21} - M_{ZC22} - M_{ZC23} - M_{ZC24}$ $- M_{ZC21'} - M_{ZC22'} - M_{ZC23'} - M_{ZC24'} - R_{YF21} * x_{F21} + R_{YF21'} *  x_{F21}  - R_{XJ21} * y_{F21} + R_{XJ21'} * y_{F21}$ $- M_{ZF21} - M_{ZF21'}$
(6.5-228)	$R_{XD21} = F_{21X1} - F_{21X1'} + R_{XE21}$
(6.5-229)	$R_{YD21} = F_{21Y1} + F_{21Y1'} + R_{YE21}$
(6.5-230)	$R_{ZD21} = F_{21Z1} + F_{21Z1'} - R_{ZE21}$
(6.5-231)	$M_{XD21} = -F_{21Z1} * d_1 - F_{21Z1'} * d_1 + R_{ZD21} * y_{D21} + M_{XO21} - M_{XO21'} + M_{XE21}$
(6.5-232)	$M_{YD21} = -F_{21Z1} * x_{O21} + F_{21Z1'} *  x_{O21'}  + M_{YO21} + M_{YO21'} + M_{YE21}$
(6.5-233)	$M_{ZD21} = F_{21X1} * d_1 + F_{21Y1} * x_{O21} - F_{21X1'} * d_1 - F_{21Y1'} *  x_{O21'}  - R_{XD21} * y_{D21} - M_{ZE21}$

### COLUMNA CENTRAL:

(6.6-7)	$R_{XK1} = \frac{R_{XD1} + R_{XD11} + R_{XD21}}{2}$
(6.6-7)	$R_{XK2} = R_{XK1} = \frac{R_{XD1} + R_{XD11} + R_{XD21}}{2}$
(6.6-8)	$R_{YP1} = R_{YD1} + R_{YD11} + R_{YD21}$
(6.6-9)	$R_{ZK1} = \frac{R_{ZD1} + R_{ZD11} + R_{ZD21}}{2}$
(6.6-9)	$R_{ZK2} = R_{ZK1} = \frac{R_{ZD1} + R_{ZD11} + R_{ZD21}}{2}$
(6.6-10)	$M_{XK1} = \frac{R_{YD1} *  z_{D1} - z_{P1}  + R_{YD11} *  z_{D11} - z_{P1}  + R_{YD21} *  z_{D21} - z_{P1}  + M_{XD1} + M_{XD11} + M_{XD21}}{2}$
(6.6-10)	$M_{XK2} = M_{XK1}$
(6.6-11)	$M_{YP1} = -R_{XD1} *  z_{D1} - z_{P1}  - R_{XD11} *  z_{D11} - z_{P1}  - R_{XD21} *  z_{D21} - z_{P1}  + M_{YD1} + M_{YD11} + M_{YD21}$
(6.6-12)	$M_{ZK1} = \frac{M_{ZD1} + M_{ZD11} + M_{ZD21}}{2}$
(6.6-12)	$M_{ZK2} = M_{ZK1} = \frac{M_{ZD1} + M_{ZD11} + M_{ZD21}}{2}$

## 7 - ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

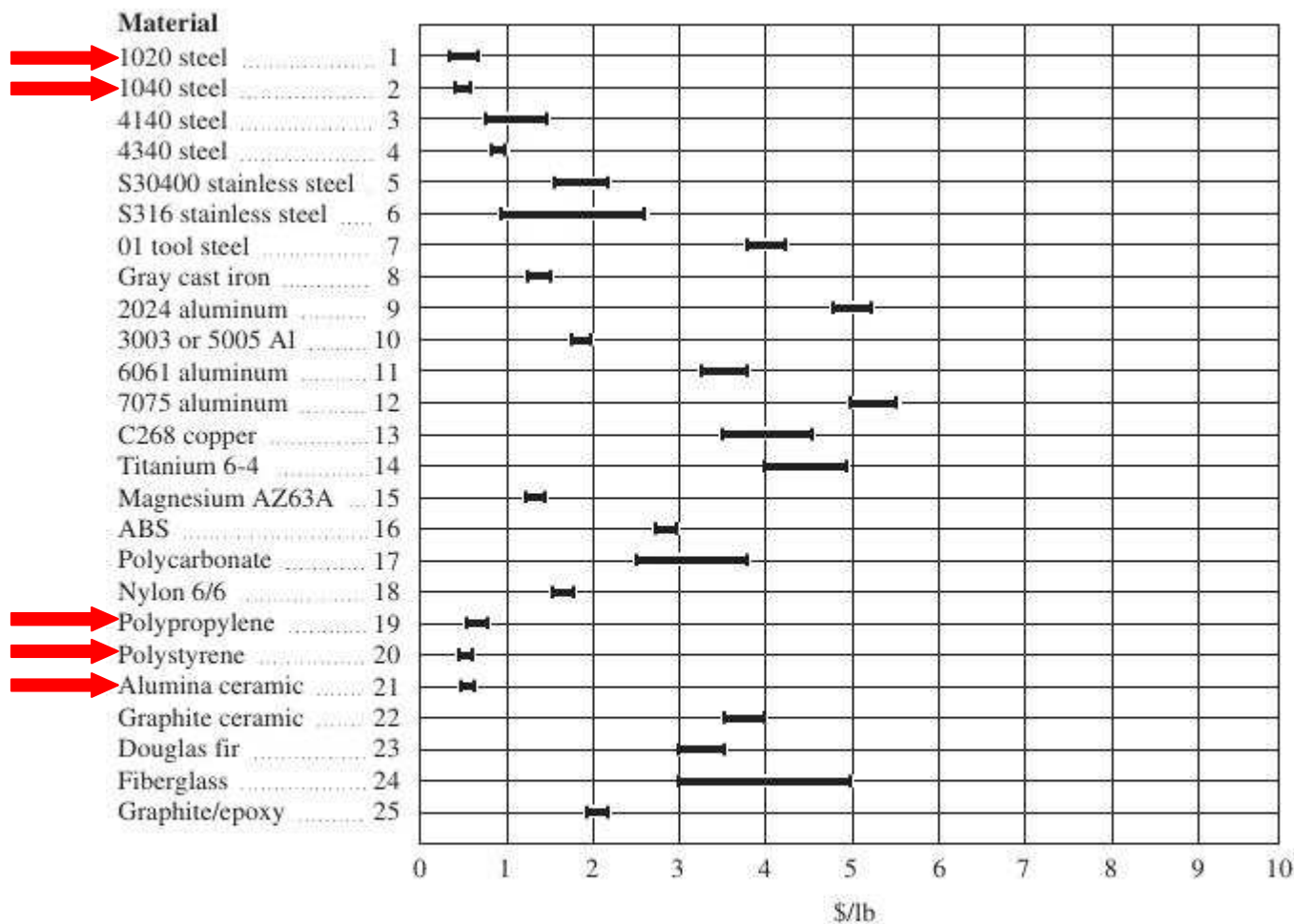
### 7.1 - SELECCIÓN DEL MATERIAL

Para seleccionar el material, se debe tener en consideración aquellas funciones del dispositivo expuestas en la sección 4.3 que afectan directamente a los elementos constructivos del esqueleto del dispositivo las cuales son:

FUNCIÓN	CARACTERÍSTICA A EVALUAR:
<ul style="list-style-type: none"><li>• Generar el mínimo costo</li></ul>	Costo/Masa [USD/lb]
<ul style="list-style-type: none"><li>• Poseer el mínimo peso posible</li></ul>	Densidad [g/cc]
<ul style="list-style-type: none"><li>• Ser impermeable/ resistente al agua</li></ul>	% absorción agua

Además, se tendrá en consideración la posibilidad de reciclaje, es decir que de haber dos materiales de similares características, se preferirá aquel que se pueda reciclar con el fin de realizar un diseño ambientalmente amigable.

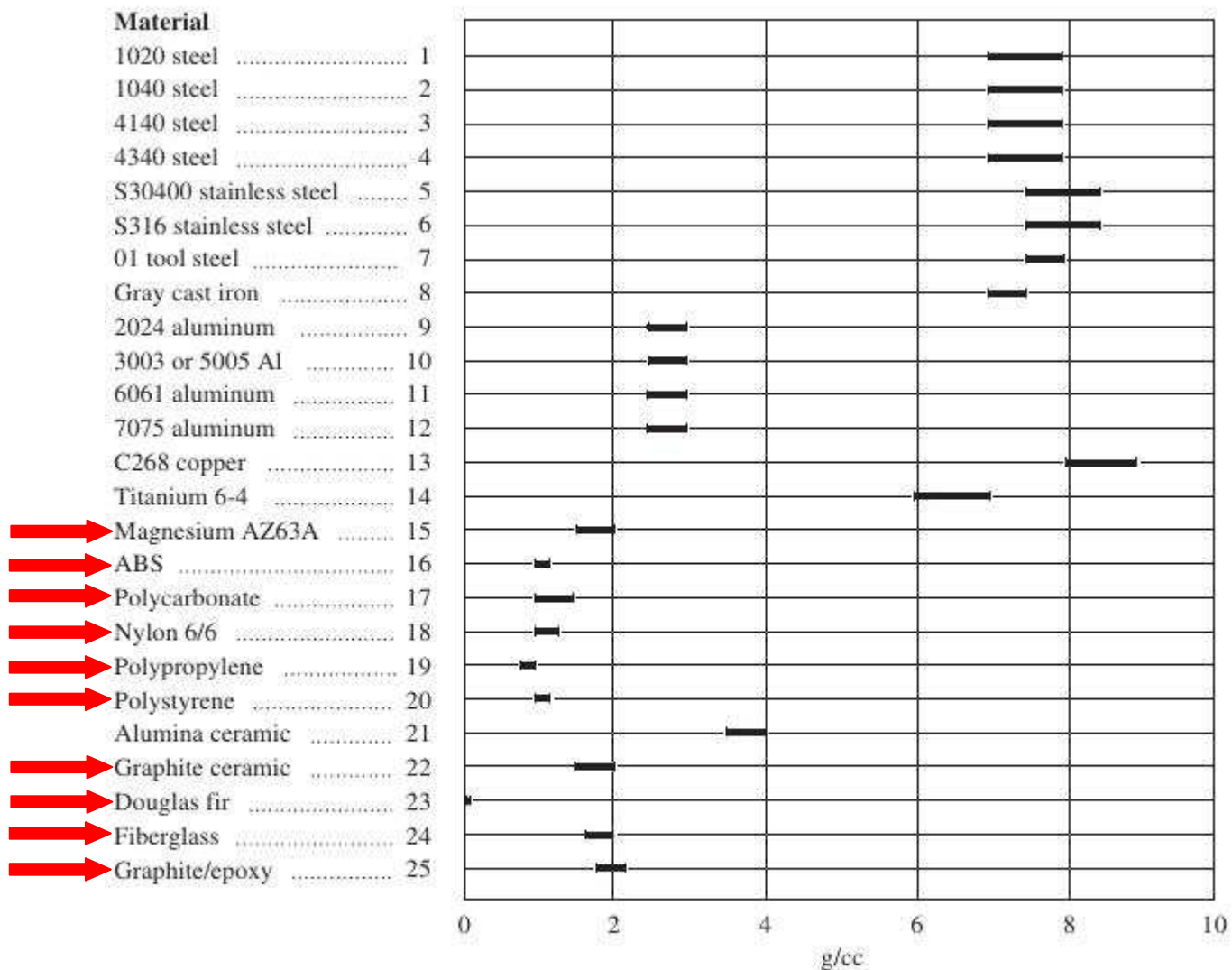
Existen literalmente una cantidad infinita de materiales disponibles, incluso es posible diseñar materiales para un uso específico. Si bien, no hay forma de que el diseñador conozca todos los materiales existentes, debe estar familiarizado con aquellos que tengan mayor disponibilidad y los más utilizados en el diseño. A continuación se seleccionará el material de acuerdo a una lista de 25 materiales más utilizados, los cuales son representativos de un amplio espectro de materiales. [2]



Note: \$ year 2000.

**Figure A.10** Cost per pound.

Fuente: [2]



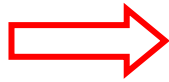
Note: 1g/cc = 0.036 lb/in<sup>3</sup>.

**Figure A.6** Density.

Fuente: [2]

De la evaluación parcial (considerando solo el costo/masa y la densidad), los materiales que cumplen con ambas características son:







- Polipropileno (PP)
- Poliestireno (PS)



Resin material	Dielectric constant, 60 cycles	Dielectric strength, ST 1/2-in. thickness, volts/mil	Power factor, 60 cycles	Arc resistance, sec	Water absorption, 24 hr, %	Rockwell hardness	Flammability, in./min	Specific gravity	Mold shrinkage, in./in.	Clarity
Acetal	3.7-3.8	500	.004-.005	129	0.12-0.25	M94, R120	1.1	1.410-1.425	.022	Translucent to opaque
ABS	2.6-3.5	300-450	.003-.007	45-90	0.2-0.4	R50-120	1.0-2	1.01-1.07	.003-.007	Opaque
Acrylic	3.7	450-500	.04-.05	No tracking	0.3	M84-97	0.5-0.7	1.18-1.18	.004-.006	Transparent
Acrylic high impact	3.5-3.7	450-480	.04-.05	No tracking	0.2-0.3	M20-67	1.1-1.2	1.11-1.18	.004-.008	Transparent to opaque
Cellulose acetate	3.5-7.5	290-600	.01-.06	50-130	2.1-4.2	R35-118	0.5-3	1.23-1.24	.001-.007	Transparent
Cellulose acetate butyrate	3.5-6.4	250-400	.01-.04	—	0.9-2.2	R31-116	0.5-1.5	1.15-1.22	.003-.006	Transparent
Cellulose propionate	3.4-4.2	300-450	.01-.04	170-190	1.2-2.8	R15-120	0.5-1.5	1.16-1.23	.001-.006	Transparent
Chlorinated polyether	3	400	.01	—	.01	R100	Self-ext.	1.4	.004-.006	Semitranslucent to opaque
Chlorotrifluoroethylene	2.65	450	.015	>360	Nil	R85-112	Nil	2.90-2.14	.010-.015	Transparent to opaque
Ethyl cellulose	—	—	—	—	1.3-1.5	R50-110	—	1.11-1.13	—	Transparent to opaque
Ethyl vinyl acetate	2.3	—	—	—	<.01	R3-7	Slow burning	0.93-0.95	.01-.02	Transparent
FFEP	2.1	500	.0002	>165	<.01	—	Nonflam.	2.14	.03	Transparent to opaque
Nylon 6	6.1	300-400	0.4-0.6	140	1.5	R107-119	Self-ext.	1.13-1.14	.007-.011	Transparent to opaque
Nylon 6/6	3.6-4.0	300-400	.014	140	1.3	R118-123	Self-ext.	1.13-1.15	.007-.015	Transparent to opaque
Nylon 6/10	4.0-7.6	300-400	.04-.05	140	0.4	R111	Self-ext.	1.07-1.09	.015	—
Polyallomer	3.2	500-1000	.0001-.0005	—	<.01	R50-85	Slow burning	0.90-.906	.01-.02	Transparent to opaque
Polycarbonate	3.17	400	.0006	120	1.5	M90, R118	Self-ext.	1.2	.005-.007	Transparent
Polyethylene low density	2.28	450-1000	.0001-.0005	Melts	<.02	R10	Slow burning	.910-.925	.01-.03	Transparent to opaque
Polyethylene medium density	2.3	450-1000	.0001-.0005	Melts	<.02	R15	Slow burning	.926-.940	.01-.035	Transparent to opaque
Polyethylene high density	2.3	450-1000	.0001-.0005	Melts	<.01	R30-60	Slow burning	0.94-0.98	.01-.04	Translucent to opaque
Polyethylene high molecular weight	2.3	710	.0003	—	<.01	R55	Very slow	0.94	.63	Translucent to opaque
Polypropylene	2.1-2.27	450-1000	.0001-.0005	13-185	<.01	R30-99	Slow burning	0.90-.0908	.008-.025	Translucent to opaque
Polystyrene	2.5-2.65	500-700	.0001-.0005	60-100	.03-.05	M60-80	0.5-2.5	1.05-1.06	.002-.006	Transparent
Polystyrene high impact	2.5-3.5	500	.003-.005	60-90	.05-.10	M25-69	0.5-2.5	1.04-1.06	.003-.005	Translucent to opaque
Polyurethane	6.7-7.5	450-550	.015-.017	—	0.60-0.80	M78, R60	Slow burning	1.20-1.26	.003-.012	Translucent to opaque
Poly(vinyl chloride) (flexible)	5-9	300-1000	.08-.15	—	0.15-0.75	—	Self-ext.	1.15-1.80	.002-.004	Transparent to opaque
Poly(vinyl chloride) (rigid)	3.4	425-1040	.01-.02	—	.07-.40	R100-120	Self-ext.	1.33-1.58	—	Transparent to opaque
Poly(vinyl dichloride) (rigid)	—	1200	—	—	0.11	R118	Self-ext.	1.50-1.54	.007-.008	Transparent to opaque
Styrene acrylonitrile (SAN)	2.9-3	400-500	—	—	0.22-0.28	M30-83	0.47-0.7	1.07-1.08	.003-.004	Transparent
TFE fluorocarbon	2.1	400	<.0001	No tracking	.01	R58	Nonflam.	2.13-2.18	.02-.06	Transparent to opaque

Propiedades generales de diferentes termoplásticos (continuación)  
 [3] Tabla 1.3, pág. 18 y 19

**Tabla 1:** Termoplásticos más comunes y sus aplicaciones en estado virgen y reciclado

Código	Nombre	Temperatura de procesamiento (°C)	Usos comunes del material virgen	Productos reciclados
	Politereftalato de etileno (PET)	250 a 260	Botellas de gaseosa, envases de aderezos	Botellas, fibras para polars, pinceles, pelotas de tenis, películas
	Poliétileno de alta densidad (HDPE)	130	Envases para jugos, lácteos, juguetes, bolsas.	Bases para botellas, macetas, butacas, cestos, juguetes.
	Policloruro de vinilo (PVC)	75 a 90	Envases para art. de limpieza y alimentos.	Tapetes, mangueras, caños, guardabarros
	Poliétileno de baja densidad (LDPE)	110	Bolsas para pan o para freezer	Bolsas de residuos.
 →	Polipropileno (PP)	160 a 170	Envases p/alimentos, medicamentos	Cubeteras, bandejas para alimentos, partes de baterías.
 →	Poliestireno (PS)	70 a 115	Cajas de CD, vasos, cubiertos, bandejas para frutas y carnes.	Accesorios de escritorio, macetas, cestos, bandejas

Fuente: [4]

Plastic	Properties	Processes
Polystyrene	Low cost, moderate heat distortion, good dimensional stability, good stiffness, impact strength	Injection molding Continuous laminating
Polypropylene	Excellent resistance to stress or flex cracking, very light weight, hard, scratch-resistant surface, can be electroplated; good chemical and heat resistance; exceptional impact strength; good optical qualities	Injection molding Continuous laminating Rotational molding

Fuente: [3]

Al comparar el polipropileno (PP) vs el poliestireno (PS) se concluye que el primero tiene un menor porcentaje de absorción de agua y menor densidad, mientras que los costos por unidad de masa son similares, y ambos son reciclables.

Por lo tanto, selecciono el Polipropileno (PP) cuyas principales propiedades mecánicas se resumen en la tabla siguiente (Fuente: [5])

**Table 7-2** Example of properties for thermoplastics

Resin Material	Impact Strength	Tensile Strength, $\text{psi} \times 10^3$	Tensile Modulus, $\text{psi} \times 10^3$	Elongation, (%)	Flexural Strength, $\text{psi} \times 10^3$	Compressive Strength, $\text{psi} \times 10^3$
	Notched Izod, $\frac{1}{2}$ in. bar ft-lb/in.					
1. Acetal	1.2-2.3	8.8-10	400-410	12-75	13-14	18
2. ABS	1.0-9.5	3.5-10.5	200-450	10-100	5-15	5-11
3. Acrylic	0.4	8.7-10.5	380-430	3-6	14-16	14-17
4. Acrylic high impact	0.5-2.3	5.5-8	225-330	23-38	8.5-12	7-12
5. Cellulose acetate	.5-5.6	2.3-8.1	—	10-70	2.2-11.5	2.2-10.9
6. Cellulose acetate butyrate	0.8-6.3	2.6-6.9	—	40-88	1.8-9.3	2.1-9.4
7. Cellulose propionate	0.9-10.2	1.8-7.3	—	30-100	2.8-11	3-9.6
8. Chlorinated polyether	0.4	6	160	60-160	5	—
9. Chlorotrifluoroethylene	3.5	6	150-190	60-190	8-10	6-12
10. Ethyl cellulose	1.7-6	2.3-6.5	—	10-40	3-6.7	—
11. Ethyl vinyl acetate	No break	20-40	3.0-15	500-1500	—	—
12. FFP	No break	2-3.2	60-80	350	—	—
13. Nylon 6	0.9-4	9.5-12.4	200-450	25-300	9-16.6	4-11
14. Nylon 6/6	0.9-2	11.2-13.1	410-480	60-300	14.6	5-13
15. Nylon 6/10	—	7-8.5	160-280	50-300	10.5	4-6
16. Polyallomer	1.5-12	2.9-4.2	100-170	400-650	4-5	—
17. Polycarbonate	2-3	8-9	345	75	11-13.5	12.5
18. Polyethylene low density	No break	1-2.4	14-38	20-800	—	—
19. Polyethylene medium density	No break	1.7-2.8	50-80	80-600	—	—
20. Polyethylene high density	0.5-23	2.8-5	75-160	10-800	1-4	0.8-3.6
21. Polyethylene high molecular weight	>20	5.4	102	525	3.5	2.4
22. Polypropylene	0.5-15	2.3-5	150-250	10-700	4.5-6	6-8
23. Polystyrene	0.25-0.65	5-9	400-500	1-2.5	7-15	11.5-16
24. Polystyrene high impact	0.7-1.5	3.5-8	300-400	10-40	5.5-12.5	8-16
25. Polyurethane	No break	4.5-8	—	100-600	0.7-1	20
26. Poly(vinyl chloride) (flexible)	Varied	1-4	—	100-450	—	—
27. Poly(vinyl chloride) (rigid)	0.4-22	6-9	200-600	5-40	8-15	10-11
28. Poly(vinyl dichloride) (rigid)	0.8-6.3	7.5-8.8	348-450	65	14.2-17	—
29. Styrene acrylonitrile (SAN)	0.3-55	10-12	500	1-3.2	17	15-17.5
30. TFE fluorocarbon	No break	2-5	50-100	75-400	—	4-1.2
31. Ionomer	5.7-14	3.5-5.5	28-40	300-450	—	—
32. Phenoxy	1.5-12	8-9.5	350-410	50-100	12-14.5	—
33. Polyphenylene oxide	—	—	—	50-80	—	—
34. Polysulfone	1.3	10.2	360	50-100	15.4	15.4

(Continues)

De la tabla anterior se adopta:

$$S_t = 2,3 \cdot 10^3 \text{ psi} = 15,86 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

$$S_c = 6,0 \cdot 10^3 \text{ psi} = 41,36 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$$

Nota: 1psi = 1 lbf/in<sup>2</sup> = 6,894 x 10<sup>3</sup> Pa = 6,894 x 10<sup>-3</sup> MPa (N/mm<sup>2</sup>)

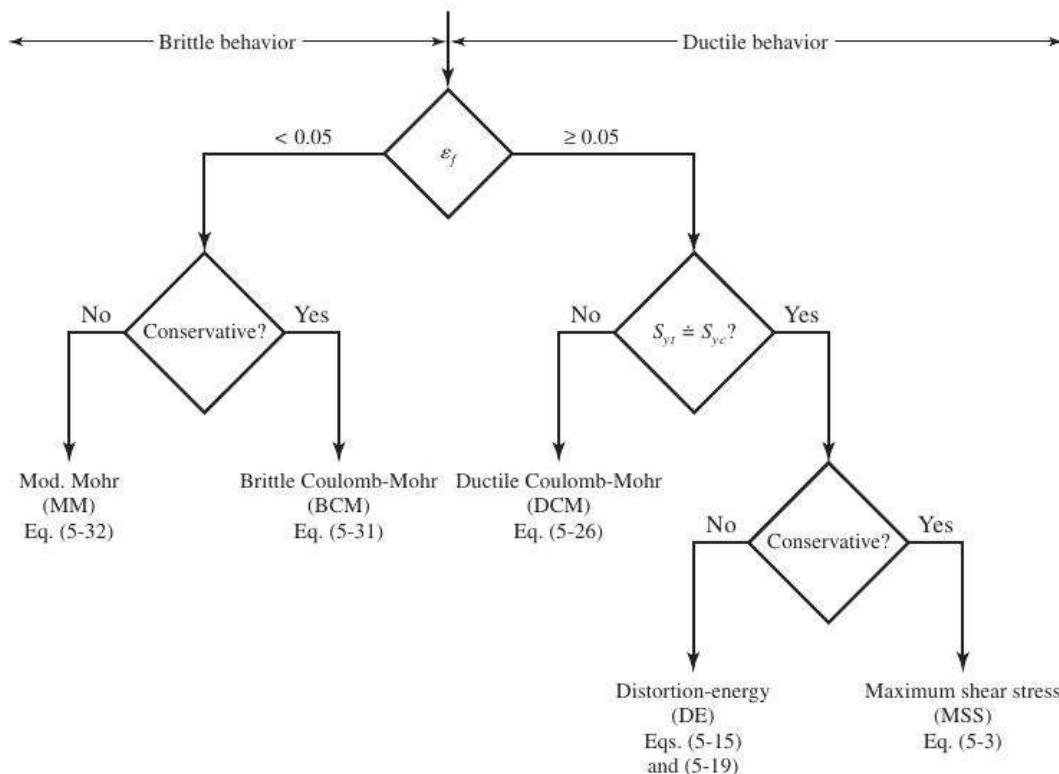
## 7.2 - SELECCIÓN DEL CRITERIO DE FALLA:

[6]

Desafortunadamente, no existe una teoría universal de falla para un caso general de las propiedades del material y el estado de esfuerzo. En su lugar, cuando las cargas son estáticas se aplican diferentes teorías según sea:

- Materiales Dúctiles: criterio de fluencia
  - Esfuerzo Cortante Máximo (MMS)
  - Energía de Distorsión (DE)
  - Mohr-Coulomb Dúctil (DCM)
- Materiales Frágiles: criterio de fractura
  - Esfuerzo Normal Máximo (MNS)
  - Mohr-Coulomb Frágil (BCM)
  - Mohr Modificada (MM)

En el siguiente diagrama se proporciona un resumen en forma de diagrama de flujo para la selección de la teoría de falla a aplicar.



Dado que el polipropileno es un material dúctil, y que además su resistencia a la fluencia en tensión ( $S_{yt}$ ) es distinta a su resistencia a la fluencia en compresión ( $S_{yc}$ ), el criterio de falla a utilizar es el de Mohr-Coulomb Dúctil.

La *Teoría de Mohr-Coulomb* o *Teoría de la Fricción Interna* es un método que se utiliza para predecir la falla de materiales dúctiles, bajo acción de cargas estáticas, cuando las resistencias a la fluencia de tracción y de compresión son distintas. Es un método simplificado de la Teoría de Mohr donde sólo son necesarias las resistencias a la tensión ( $S_t$ ), y a la compresión ( $S_c$ ).

Sean los esfuerzos principales  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  tales que:  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$  entonces, se puede concluir luego de un desarrollo gráfico que:

$$\frac{\sigma_1}{S_t} - \frac{\sigma_3}{S_c} = 1 \quad (7-1)$$

Donde se puede utilizar tanto la resistencia a la fluencia (caso materiales dúctiles) como la resistencia última (caso materiales frágiles).

En el caso de ecuaciones utilizadas para el diseño, la incorporación del factor de seguridad  $N$  divide tanto la resistencia a la tracción como a la compresión. Entonces la ecuación anterior resulta en la siguiente ecuación para el diseño:

$$\frac{\sigma_1}{S_t} - \frac{\sigma_3}{S_c} = \frac{1}{N} \quad (7-2)$$

Como para la teoría de Mohr-Coulomb no se necesita el círculo de la resistencia cortante torsional, ésta puede deducirse de la ecuación 7-1. Para el cortante puro  $\tau$ , se tiene  $\sigma_1 = -\sigma_3 = \tau$ . La resistencia a la fluencia torsional ocurre cuando  $\tau_{m\acute{a}x} = S_{xy}$ . Sustituyendo  $\sigma_1 = -\sigma_3 = S_{xy}$  en la ecuación 7-1 y simplificando se obtiene:

$$S_{xy} = \frac{S_t * S_c}{S_t + S_c} \quad (7-3)$$

### 7.3 - CÁLCULO DE LOS ESFUERZOS TRIDIMENSIONALES PRINCIPALES:

[6]

Se requieren seis componentes del esfuerzo ( $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ ) para especificar un estado general de esfuerzos en tres dimensiones. Según la teoría de Mohr, dichas componentes del esfuerzo se pueden relacionar para calcular los tres esfuerzos principales  $\sigma_1, \sigma_2$  y  $\sigma_3$ , que son las tres raíces de la siguiente ecuación de tercer grado:

$$\sigma^3 - (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) * \sigma^2 + (\sigma_x * \sigma_y + \sigma_x * \sigma_x + \sigma_y * \sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2) * \sigma - (\sigma_x * \sigma_y * \sigma_z + 2 * \tau_{xy} * \tau_{yz} * \tau_{zx} - \sigma_x * \tau_{yz}^2 - \sigma_y * \tau_{zx}^2 - \sigma_z * \tau_{xy}^2) = 0 \quad (7-4)$$

Siendo la ecuación anterior de la forma  $x^3 + a_1 * x^2 + a_2 * x + a_3 = 0$ , las raíces son:

$$\begin{cases} \sigma_{p1} = S_1 + S_2 - \frac{a_1}{3} \\ \sigma_{p2} = -\frac{S_1 + S_2}{2} - \frac{a_1}{3} + \frac{i * \sqrt{3}}{2} * (S_1 - S_2) \\ \sigma_{p3} = -\frac{S_1 + S_2}{2} - \frac{a_1}{3} - \frac{i * \sqrt{3}}{2} * (S_1 - S_2) \end{cases}$$

Donde:  $S_1 = \sqrt[3]{R + \sqrt{Q^3 + R^2}}$

$$S_2 = \sqrt[3]{R - \sqrt{Q^3 + R^2}}$$

Siendo:

$$Q = \frac{3 * a_2 - (a_1)^2}{9} = \frac{3 * [\sigma_x * \sigma_y + \sigma_x * \sigma_x + \sigma_y * \sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2] - [\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z]^2}{9}$$

$$R = \frac{9 * a_1 * a_2 - 27 * a_3 - 2 * (a_1)^3}{54} = \left\{ 9 * [-(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)] * [\sigma_x * \sigma_y + \sigma_x * \sigma_x + \sigma_y * \sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2] - 27 * [-(\sigma_x * \sigma_y * \sigma_z + 2 * \tau_{xy} * \tau_{yz} * \tau_{zx} - \sigma_x * \tau_{yz}^2 - \sigma_y * \tau_{zx}^2 - \sigma_z * \tau_{xy}^2)] - 2 * [-(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)]^3 \right\} / 54$$

Una vez calculadas las tres raíces de la ecuación de tercer grado, se deben acomodar de la siguiente manera:  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ . Entonces se podrán calcular los tres esfuerzos principales de corte:

$$\tau_{1/2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad (7-5)$$

$$\tau_{2/3} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2} \quad (7-6)$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \tau_{1/3} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (7-7)$$

## 7.4 - CÁLCULO DEL FACTOR DE DISEÑO:

[1]

Siguiendo las indicaciones del Mott, si se conoce las cargas y se ha especificado el material del componente, se puede calcular el esfuerzo de diseño mediante la aplicación del factor de diseño  $N$  deseado, a la resistencia correspondiente del material. El resultado es la resistencia admisible máxima donde se puede exponer cualquier parte del componente. Entonces se podrá completar el análisis de esfuerzos, para determinar qué forma y tamaño del componente garantizarán que los esfuerzos sean seguros.

El factor de diseño es una medida de la seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga. En la mayor parte de los casos, la resistencia del material con que se fabricará el componente se divide por el factor de diseño para determinar el *esfuerzo de diseño* o *admisible*. Entonces, el esfuerzo real que se desarrolla en el componente debe ser menor que el esfuerzo de diseño.

El diseñador debe determinar cuál será un valor razonable del factor de diseño en determinado caso. Con frecuencia, éste está definido por códigos establecidos por organizaciones de normalización. Cuando no se cuenta con códigos o normas, el diseñador debe aplicar su juicio para especificar el factor de diseño adecuado. Para ello, el Mott recomienda los siguientes lineamientos:

- Para materiales dúctiles:
  - $N = 1,25$  a  $2,00$ : diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño;
  - $N = 2,0$  a  $2,5$ : diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos del diseño;
  - $N = 2,5$  a  $4,0$ : diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente;
  - $N = 4,0$  o más: diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente. El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el empleo de estos valores;
- Para materiales frágiles:
  - $N = 3,0$  a  $4,0$ : diseño de estructuras bajo cargas estáticas donde haya un alto grado de confianza en todos los datos de diseño;
  - $N = 4,0$  a  $8,0$ : diseño de estructuras estáticas o elementos de maquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre acerca de cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.

En el caso en estudio, al ser dúctil el material seleccionado, estáticas las cargas consideradas y al tener confianza en los datos de diseño, se utilizará un factor de diseño:

$$N = 1,5$$

7.5 - RELACIÓN ENTRE ESFUERZOS Y GEOMETRÍA DEL COMPONENTE

Los tipos de esfuerzos a los que puede estar sometido un sólido genérico son los siguientes: [1, 1.1, 6, 7, 8, 9]

	TENSIÓN	DEFORMACIÓN
<p><b>TRACCIÓN/COMPRESIÓN</b></p>	$\sigma_x = \frac{N}{A}$ $\sigma_y = -\nu * \sigma_x$ $\sigma_z = -\nu * \sigma_x$	$\epsilon_x = \frac{1}{\rho_x} \frac{\sigma_x}{E}$ $\epsilon_y = \frac{\sigma_y}{E} = -\nu * \epsilon_x$ $\epsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} = -\nu * \epsilon_x$
<p><b>CORTE en eje Y</b></p>	$\tau_{xy} = \frac{V_y}{A}$	$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} = \frac{2(1+\nu)}{E} * \tau_{xy}$
<p><b>CORTE en eje Z</b></p>	$\tau_{xz} = \frac{V_z}{A}$	$\gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G} = \frac{2(1+\nu)}{E} * \tau_{xz}$
<p><b>TORSIÓN</b></p>	$\tau_{zx} = \frac{M_t}{J_x/r}$ $\tau_{zx \text{ máx}} = \frac{M_t}{J_x/r_{\text{máx}}}$	$\gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx \text{ máx}}}{G} = \frac{2(1+\nu)}{E} * \tau_{zx \text{ máx}}$ $= \frac{2(1+\nu)}{E} * \frac{M_t}{J_x/r_{\text{máx}}}$
<p><b>FLEXIÓN en plano XZ</b></p>	$\sigma_x = \frac{M_{fY}}{I_y/z}$ $\sigma_{x \text{ máx}} = \frac{M_{fY}}{I_y/z_{\text{max}}}$	$\epsilon_x = \frac{z}{\rho_x} = \frac{\sigma_x}{E} = \frac{z * M_{fY}}{E * I_y}$
<p><b>FLEXIÓN en plano XY</b></p>	$\sigma_x = \frac{M_{fZ}}{I_z/y}$ $\sigma_{x \text{ máx}} = \frac{M_{fZ}}{I_z/y_{\text{max}}}$	$\epsilon_x = \frac{z}{\rho_x} = \frac{\sigma_x}{E} = \frac{z * M_{fY}}{E * I_y}$

$\sigma_x$  : tensión normal respecto eje X  
 $N$  : fuerza de tracción o compresión  
 $A$  : área de la sección transversal al eje X  
 $\epsilon_x$  : deformación en eje X  
 $\epsilon_y$  : deformación en eje Y  
 $\epsilon_z$  : deformación en eje Z  
 $\rho_x$  : radio de curvatura de la deflexión en X  
 $E$  : módulo de elasticidad  
 $\nu$  : módulo de Poisson

$\tau_{xy}$  : tensión de corte  $\perp$  al eje X, y  $\parallel$  al eje Y  
 $V_y$  : fuerza de corte en el eje Y  
 $A$  : área de la sección transversal al eje X  
 $\gamma_{xy}$ :deformación angular  $\perp$  al eje X, y  $\parallel$  al eje Y  
 $G$  : módulo de corte  
 $E$  : módulo de elasticidad  
 $\nu$  : módulo de Poisson

$\tau_{xz}$  : tensión de corte  $\perp$  al eje X, y  $\parallel$  al eje Z  
 $V_z$  : fuerza de corte en el eje Z  
 $A$  : área de la sección transversal al eje X  
 $\gamma_{xz}$ :deformación angular  $\perp$  al eje X, y  $\parallel$  al eje Z  
 $G$  : módulo de corte  
 $E$  : módulo de elasticidad  
 $\nu$  : módulo de Poisson

$\tau_{zx}$  : tensión de torsión  $\perp$  al eje Z, y  $\parallel$  al eje X  
 $M_t$  : momento torsor en el eje X  
 $J_x$ : momento polar de inercia respecto al eje X  
 $r$  : distancia al eje X  
 $\gamma_{zx}$ :deformación angular  $\perp$  al eje Z, y  $\parallel$  al eje X  
 $G$  : módulo de corte  
 $E$  : módulo de elasticidad  
 $\nu$  : módulo de Poisson

$\sigma_x$  : tensión normal respecto al eje X  
 $M_{fY}$  : momento flector respecto al eje Y  
 $I_y$  : momento de inercia respecto al eje Y  
 $z$  : distancia en Z al eje neutro  
 $\epsilon_x$  : deformación en eje X  
 $\rho_x$  : radio de curvatura de la deflexión en X  
 $S_z$  : módulo de sección con respecto a Z

$\sigma_x$  : tensión normal respecto al eje X  
 $M_{fZ}$  : momento flector respecto al eje Z  
 $I_z$  : momento de inercia respecto al eje Z  
 $y$  : distancia en Y al eje neutro  
 $\epsilon_x$  : deformación en eje X  
 $\rho_x$  : radio de curvatura de la deflexión en X  
 $S_y$  : módulo de sección con respecto a Y

## 7.6 - CÁLCULO DE TENSIÓN ADMISIBLE

Combinando las ecuaciones 7-3 y 7-7 se tiene:

$$\tau_{m\acute{a}x} = S_{xy} = \frac{S_t * S_c}{S_t + S_c} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

Utilizando los datos del polipropileno y despejando de la ecuación anterior se obtiene:

- $\tau_{m\acute{a}x} = S_{xy} = \frac{S_t * S_c}{S_t + S_c} = \frac{15,86 \text{ MPa} * 41,36 \text{ MPa}}{15,86 \text{ MPa} + 41,36 \text{ MPa}} = \mathbf{11,46 \text{ MPa}}$
- $\sigma_1 = 2 * \tau_{m\acute{a}x} + \sigma_3$  (7-8)

Combinando las ecuaciones 7-2 y 7-8 se tiene:

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_1}{S_t} - \frac{\sigma_3}{S_c} = \frac{(2 * \tau_{m\acute{a}x} + \sigma_3)}{S_t} - \frac{\sigma_3}{S_c}$$

Entonces,

$$\sigma_3 = \frac{\frac{1}{N} - \frac{2 * \tau_{m\acute{a}x}}{S_t}}{\left(\frac{1}{S_t} - \frac{1}{S_c}\right)} = \frac{\frac{1}{1,5} - \frac{2 * 11,46 \text{ MPa}}{15,86 \text{ MPa}}}{\left(\frac{1}{15,86 \text{ MPa}} - \frac{1}{41,36 \text{ MPa}}\right)} = \mathbf{-20,02 \text{ MPa}}$$

Reemplazando  $\sigma_3$  en ecuación 7-8:

$$\sigma_1 = 2 * \tau_{m\acute{a}x} + \sigma_3 = 2 * 11,46 \text{ MPa} + (-20,02 \text{ MPa}) = \mathbf{2,90 \text{ MPa}}$$

Se deben dimensionar los componentes tales que cumplan simultáneamente:

- $\sigma_{adm T} = \sigma_1 \geq \sigma_{trab T}$       donde  $\sigma_{trab T} = \frac{N}{A} + \frac{M_{fy}}{I_{y/z}} + \frac{M_{fz}}{I_{z/y}}$  (7-9)

- $\sigma_{adm C} = \sigma_3 \leq \sigma_{trab C}$       donde  $\sigma_{trab C} = -\frac{N}{A} - \frac{M_{fy}}{I_{y/z}} - \frac{M_{fz}}{I_{z/y}}$  (7-10)

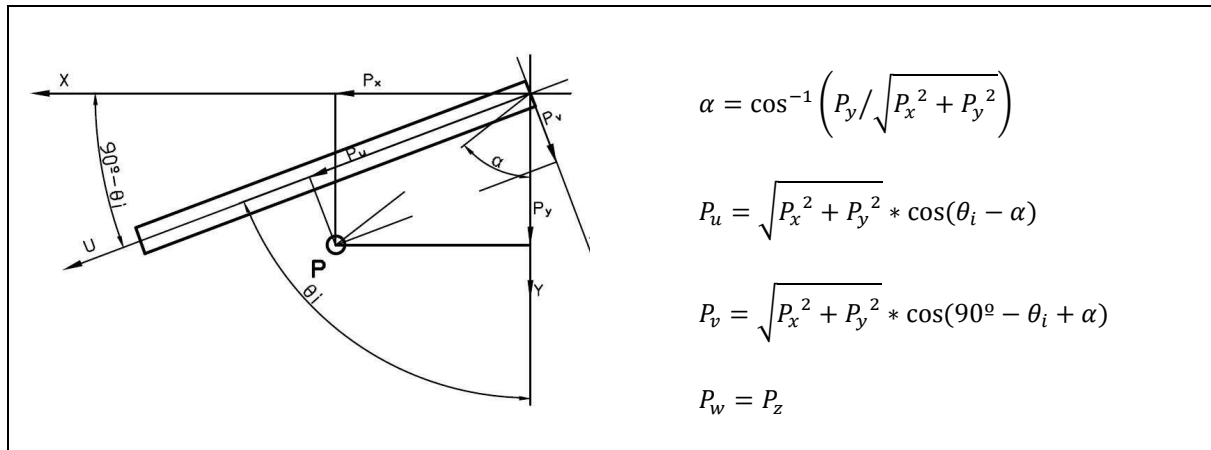
- $\tau_{adm} = S_{xy} \geq \tau_{trab}$       donde  $\tau_{trab} = \sqrt{(\tau_{xy})^2 + (\tau_{xz})^2 + (\tau_{zx})^2}$  (7-11)

## 7.7 - DIMENSIONAMIENTO

### 7.7.1 - Eslabones

Primero se procederá a realizar el dimensionamiento de los eslabones de manera genérica, y luego se calculará la sección necesaria de cada uno de los eslabones utilizando programación en Excel.

Sea el nuevo sistema de referencia U, V, W tal que el eje U coincida con el eje del eslabón. Entonces para cualquier punto genérico P de coordenadas (x, y, z) se puede redefinir como P (u, v, w) siendo:



Por lo tanto, las fuerzas y los momentos actuantes en el eslabón  $i$  que se definieron en el capítulo 6 con respecto a los ejes X, Y, Z como:

$$F_{i1} = (F_{iX1}; F_{iY1}; F_{iZ1})$$

$$F_{i2} = (F_{iX2}; F_{iY2}; F_{iZ2})$$

$$M_{Oi} = (M_{XOi}; M_{YOi}; M_{ZOi})$$

$$F_{eqi} = (F_{xeqi}; F_{yeqi}; F_{zeqi})$$

Pueden redefinirse con respecto a los ejes coordenados U, V, W como:

$$F_{i1} = \left( F_{iU1} = \sqrt{F_{iX1}^2 + F_{iY1}^2} * \cos(\theta_i - \alpha_{F_{i1}}) ; F_{iV1} = \sqrt{F_{iX1}^2 + F_{iY1}^2} * \cos(90^\circ - \theta_i + \alpha_{F_{i1}}) ; F_{iW1} = F_{iZ1} \right)$$

$$F_{i2} = \left( F_{iU2} = \sqrt{F_{iX2}^2 + F_{iY2}^2} * \cos(\theta_i - \alpha_{F_{i2}}) ; F_{iV2} = \sqrt{F_{iX2}^2 + F_{iY2}^2} * \cos(90^\circ - \theta_i + \alpha_{F_{i2}}) ; F_{iW2} = F_{iZ2} \right)$$

$$M_{Oi} = \left( M_{UOi} = \sqrt{M_{XOi}^2 + M_{YOi}^2} * \cos(\theta_i - \alpha_{M_{Oi}}) ; M_{VOi} = \sqrt{M_{XOi}^2 + M_{YOi}^2} * \cos(90^\circ - \theta_i + \alpha_{M_{Oi}}) ; M_{WOi} = M_{ZOi} \right)$$

$$F_{eqi} = (F_{Ueqi} = 0 ; F_{Veqi} = F_{eqi} * \cos \beta ; F_{Weqi} = F_{eqi} * \sin \beta )$$

Dado que del desarrollo del análisis estático se concluyó que:

$$M_{XOi} = 0 \rightarrow M_{UOi} = 0$$

$$M_{YOi} = 0 \rightarrow M_{VOi} = 0$$

$$M_{ZOi} = 0 \rightarrow M_{WOi} = 0$$

Las componentes de las fuerzas  $F_{i1}, F_{i2}, F_{eqi}$  aplicadas en el eslabón  $i$  producen los esfuerzos de:

- Tracción/Compresión:  $F_{iU1}, F_{iU2}, F_{Ueqi}$
- Corte en eje V:  $F_{iV1}, F_{iV2}, F_{Veqi}$
- Corte en eje W:  $F_{iW1}, F_{iW2}, F_{Weqi}$
- Torsión:  $M_t = 0$
- Flexión en plano XZ, UW:  $F_{iW1}, F_{iW2}, F_{Weqi}$
- Flexión en plano XY, UV:  $F_{iV1}, F_{iV2}, F_{Veqi}$

PRE-DISEÑO:

$$\begin{aligned}\tau_{trab} &= \sqrt{(\tau_{UV})^2 + (\tau_{UW})^2 + (\tau_{WU})^2} = \sqrt{\left(\frac{\sum V_V}{A}\right)^2 + \left(\frac{\sum V_W}{A}\right)^2 + \left(\frac{M_t}{J_V/r_{m\acute{a}x}}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{F_{iV1} + F_{iV2} + F_{Veqi}}{A}\right)^2 + \left(\frac{F_{iW1} + F_{iW2} + F_{Weqi}}{A}\right)^2 + \left(\frac{0}{J_V/r_{m\acute{a}x}}\right)^2} \\ &= \frac{1}{A} \sqrt{(F_{iV1} + F_{iV2} + F_{Veqi})^2 + (F_{iW1} + F_{iW2} + F_{Weqi})^2}\end{aligned}$$

Entonces,

$$A = \frac{1}{\tau_{trab}} \sqrt{(F_{iV1} + F_{iV2} + F_{Veqi})^2 + (F_{iW1} + F_{iW2} + F_{Weqi})^2}$$

Como debe cumplirse la relación (7-11)  $\tau_{adm} = S_{xy} \geq \tau_{trab}$  entonces:

$$A_{necesaria} \geq \frac{1}{S_{xy}} \sqrt{(F_{iV1} + F_{iV2} + F_{Veqi})^2 + (F_{iW1} + F_{iW2} + F_{Weqi})^2} \quad (7-12)$$

VERIFICACIÓN:

Si el área del eslabón fue correctamente dimensionada, deben cumplirse las relaciones (7-9) y (7-10):

- $\sigma_{adm T} = \sigma_1 \geq \sigma_{trab T}$  donde: (7-13)

$$\sigma_{trab T} = \frac{N}{A} + \frac{M_{fV}}{I_V/w_{m\acute{a}x}} + \frac{M_{fW}}{I_W/v_{m\acute{a}x}} = \left(\frac{F_{iU1} + F_{iU2} + F_{Ueqi}}{A}\right) + \frac{F_{iW1} * m_i + F_{Weqi} * m_i/2}{I_V/w_{m\acute{a}x}} + \frac{F_{iV1} * m_i + F_{Veqi} * m_i/2}{I_W/v_{m\acute{a}x}}$$

- $\sigma_{adm C} = \sigma_3 \leq \sigma_{trab C}$  donde: (7-14)

$$\sigma_{trab C} = -\frac{N}{A} - \frac{M_{fV}}{I_V/w_{m\acute{a}x}} - \frac{M_{fW}}{I_W/v_{m\acute{a}x}} = -\frac{0}{A} - \frac{F_{iW1} * m_i + F_{Weqi} * m_i/2}{I_V/w_{m\acute{a}x}} - \frac{F_{iV1} * m_i + F_{Veqi} * m_i/2}{I_W/v_{m\acute{a}x}}$$

Para dimensionar cada eslabón se procederá primero calculando en Excel cada una de las componentes de fuerzas aplicadas sobre los eslabones con respecto al nuevo sistema de coordenadas (U, V, W). Utilizando las fórmulas deducidas al principio de esta sección se obtiene:

Auxiliar:

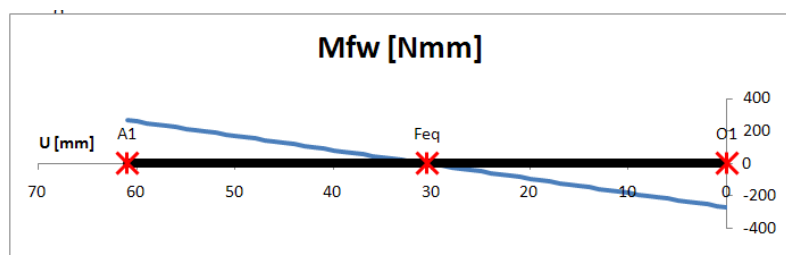
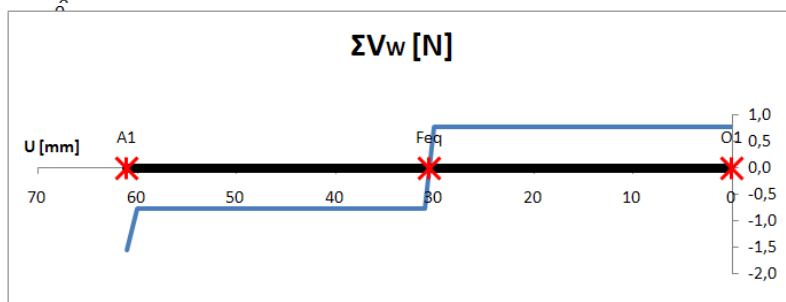
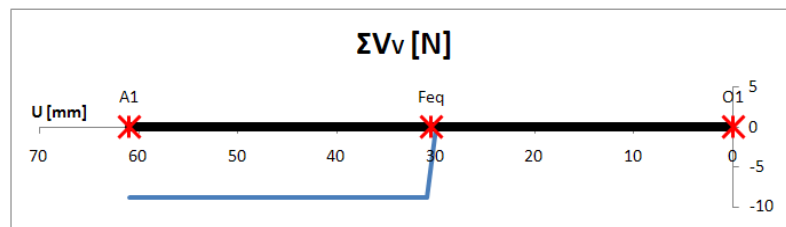
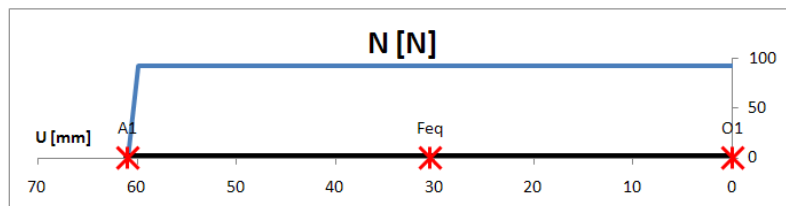
Áng recto = 90,00 ° = 1,57 rad

	Fiu1 [N]	Fiu2 [N]	FUeqi [N]	Fiv1 [N]	Fiv2 [N]	FVeqi [N]	Fiw1 [N]	Fiw2 [N]	FWeqi [N]
Eslabón 1	93,37	92,96	0,00	0,00	0,00	8,77	0,77	0,77	1,55
Eslabón 3	24,18	22,54	0,00	0,00	0,00	8,77	0,77	0,77	1,55
Eslabón 5	9,09	-0,62	0,00	0,00	-2,28	8,77	0,77	0,77	1,55
Eslabón 7	-60,10	58,82	0,00	0,00	-8,68	8,77	0,77	0,77	1,55
Eslabón 11	124,42	124,11	0,00	0,00	0,00	8,77	0,77	0,77	1,55
Eslabón 13	22,73	20,97	0,00	0,00	0,00	8,77	0,77	0,77	1,55
Eslabón 15	-24,82	21,72	0,00	0,00	-8,21	8,77	0,77	0,77	1,55
Eslabón 21	53,52	52,80	0,00	0,00	0,00	8,77	0,77	0,77	1,55
Eslabón 23	16,20	13,62	0,00	0,00	0,00	8,77	0,77	0,77	1,55
Eslabón 25	9,03	-0,50	0,00	0,00	-2,06	8,77	0,77	0,77	1,55
Eslabón 27	-251,58	251,28	0,00	0,00	-8,77	8,77	0,77	0,77	1,55

Para identificar la sección más solicitada de cada eslabón, se procederá a calcular los esfuerzos de tracción/compresión, corte, y momentos flectores y torsor en función de la coordenada U, para cada uno de los eslabones. A continuación se muestra el resultado obtenido en el eslabón 1, con sus respectivas gráficas:

ESLABÓN 1						
U [mm]	N [N]	$\Sigma V_v$ [N]	$\Sigma V_w$ [N]	Mt [Nmm]	Mfv [Nmm]	Mfw [Nmm]
0	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-267,60
1	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-258,83
2	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-250,05
3	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-241,28
4	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-232,50
5	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-223,73
6	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-214,96
7	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-206,18
8	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-197,41
9	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-188,64
10	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-179,86
11	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-171,09
12	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-162,31
13	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-153,54
14	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-144,77
15	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-135,99
16	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-127,22
17	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-118,45
18	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-109,67
19	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-100,90
20	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-92,12
21	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-83,35
22	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-74,58
23	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-65,80
24	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-57,03
25	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-48,26
26	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-39,48
27	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-30,71
28	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-21,93
29	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-13,16
30	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-4,39
31	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	4,39

32	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	13,16
33	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	21,93
34	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	30,71
35	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	39,48
36	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	48,26
37	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	57,03
38	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	65,80
39	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	74,58
40	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	83,35
41	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	92,12
42	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	100,90
43	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	109,67
44	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	118,45
45	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	127,22
46	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	135,99
47	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	144,77
48	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	153,54
49	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	162,31
50	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	171,09
51	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	179,86
52	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	188,64
53	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	197,41
54	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	206,18
55	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	214,96
56	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	223,73
57	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	232,50
58	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	241,28
59	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	250,05
60	93,37	-8,77	-0,77	0,00	0,00	258,83
61	0,41	-8,77	-1,55	0,00	0,00	267,60



Realizando el procedimiento anterior para cada uno de los eslabones se concluye que las secciones más solicitadas de cada eslabón son:

**Sección más solicitada:**

		N [N]	$\Sigma V_v$ [N]	$\Sigma V_w$ [N]	Mt [Nmm]	Mfv [Nmm]	Mfw [Nmm]
ESLAB 1	U = 0	93,37	0,00	0,77	0,00	0,00	-267,60
ESLAB 3	U = 0	24,18	0,00	0,77	0,00	0,00	-267,60
ESLAB 5	U = 0	9,09	0,00	0,77	0,00	0,00	-406,97
ESLAB 7	U = 0	-60,10	0,00	0,77	0,00	0,00	-797,06
ESLAB 11	U = 0	124,42	0,00	0,77	0,00	0,00	-267,60
ESLAB 13	U = 0	22,73	0,00	0,77	0,00	0,00	-267,60
ESLAB 15	U = 0	-24,82	0,00	0,77	0,00	0,00	-768,25
ESLAB 21	U = 0	53,52	0,00	0,77	0,00	0,00	-267,60
ESLAB 23	U = 0	16,20	0,00	0,77	0,00	0,00	-267,60
ESLAB 25	U = 0	9,03	0,00	0,77	0,00	0,00	-393,19
ESLAB 27	U = 0	-251,58	0,00	0,77	0,00	0,00	-802,47

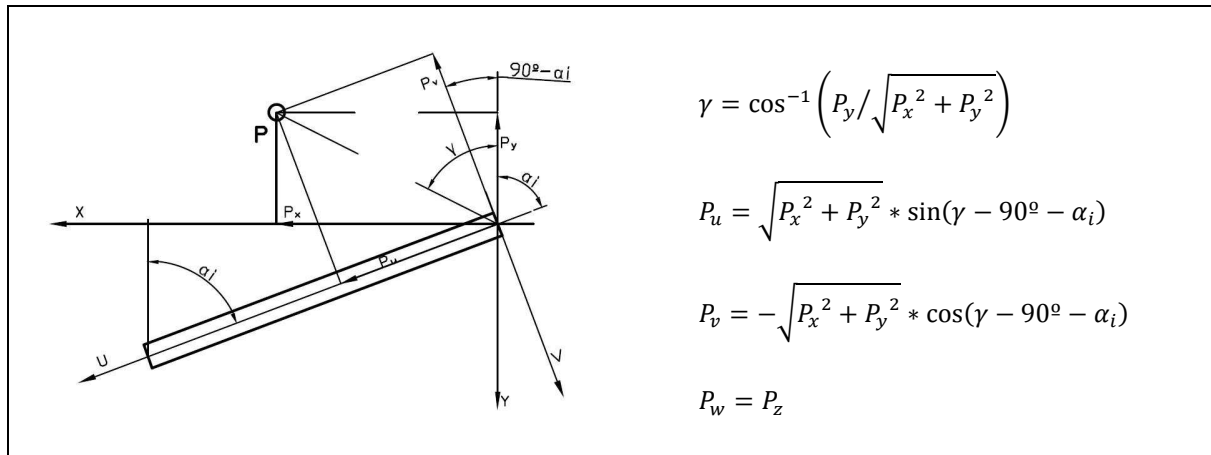
Para el dimensionamiento se evaluó la sección más solicitada del eslabón 27 ya que es el que más esfuerzos resiste. Para ello, se procede a calcular el área mínima necesaria utilizando la fórmula (7-12), se elige un tipo de sección y se adopta una dimensión que sea mayor a la mínima necesaria. Por último, para comprobar que el dimensionamiento fue correctamente realizado, se realizan dos verificaciones utilizando las fórmulas (7-13) y (7-14). Finalmente se obtiene:

PIEZA	MATERIAL ADOPTADO	CÁLCULO ÁREA NECESARIA [mm <sup>2</sup> ]	SECCIÓN ELEGIDA	CÁLCULO DIMENSIÓN NECESARIA [mm]	DIMENSIÓN ADOPTADA [mm]	CARACT SECCIÓN ADOPTADA				VERIFICACIÓN 1		VERIFICACIÓN 2	
						A [mm <sup>2</sup> ]	ZP [mm <sup>3</sup> ]	Sv [mm <sup>3</sup> ]	Sw [mm <sup>3</sup> ]	$\sigma_{\text{trab T}}$		$\sigma_{\text{trab C}}$	
Eslabón	PP	0,07	Rectangular	0,32 lado mayor 0,21 lado menor	12,00 lado mayor 12,00 lado menor	144,00		288,00	288,00	2,79	OK	-4,53	OK

### 7.7.2 - Bielas

Primero se procederá a realizar el dimensionamiento de las bielas de manera genérica, y luego se calculará la sección necesaria de cada una de las bielas utilizando programación en Excel.

Sea el nuevo sistema de referencia U, V, W tal que el eje U coincida con el eje de la biela. Entonces para cualquier punto genérico P de coordenadas (x, y, z) se puede redefinir como P (u, v, w) siendo:



Por lo tanto, las fuerzas y los momentos actuantes sobre la biela  $i$  que se definieron en el capítulo 6 con respecto a los ejes X, Y, Z como:

$$F_{i1} = (F_i * \sin \alpha_i ; F_i * \cos \alpha_i ; F_{iZ1})$$

$$F_{i2} = (-F_i * \sin \alpha_i ; -F_i * \cos \alpha_i ; F_{iZ2})$$

$$M_{Bi} = (M_{XB_i} ; -M_{YB_i} ; M_{ZB_i})$$

Pueden redefinirse con respecto a los ejes coordenados U, V, W como:

$$F_{i1} = (F_{Ui1} = F_i \quad ; \quad F_{Vi1} = 0 \quad ; \quad F_{Wi1} = F_{iZ1})$$

$$F_{i2} = (F_{Ui2} = F_i \quad ; \quad F_{Vi2} = 0 \quad ; \quad F_{Wi2} = F_{iZ2})$$

$$M_{Bi} = \left( M_{UB_i} = \sqrt{M_{XB_i}^2 + M_{YB_i}^2} * \sin(\gamma_{M_{Bi}} - 90^\circ - \alpha_i) ; \quad M_{VB_i} = -\sqrt{M_{XB_i}^2 + M_{YB_i}^2} * \cos(\gamma_{M_{Bi}} - 90^\circ - \alpha_i) ; \quad M_{WB_i} = M_{ZB_i} = 0 \right)$$

Las componentes de las fuerzas y momentos  $F_{i1}$ ,  $F_{i2}$ ,  $M_{Bi}$  aplicadas en la biela  $i$  producen los esfuerzos de:

- Tracción/Compresión:  $F_{Ui1}, F_{Ui2}$
- Corte en eje V:  $F_{Vi1}, F_{Vi2}$
- Corte en eje W:  $F_{Wi1}, F_{Wi2}$
- Torsión:  $M_t = M_{UB_i}$
- Flexión en plano XZ, UW:  $F_{Wi1}, F_{Wi2}, M_{VB_i}$
- Flexión en plano XY, UV:  $F_{Vi1}, F_{Vi2}$

PRE-DISEÑO:

$$\begin{aligned}\tau_{trab} &= \sqrt{(\tau_{UV})^2 + (\tau_{UW})^2 + (\tau_{WU})^2} = \sqrt{\left(\frac{\sum V_V}{A}\right)^2 + \left(\frac{\sum V_W}{A}\right)^2 + \left(\frac{M_t}{J_U/r_{m\acute{a}x}}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{F_{Vi1} + F_{Vi2}}{A}\right)^2 + \left(\frac{F_{Wi1} + F_{Wi2}}{A}\right)^2 + \left(\frac{M_{UBi}}{Z_{Pu}}\right)^2}\end{aligned}$$

Supongo

$$\tau_{trab} = \sqrt{\left(\frac{F_{Vi1} + F_{Vi2}}{A}\right)^2 + \left(\frac{F_{Wi1} + F_{Wi2}}{A}\right)^2} = \frac{1}{A} \sqrt{(F_{Vi1} + F_{Vi2})^2 + (F_{Wi1} + F_{Wi2})^2}$$

Entonces,

$$A = \frac{1}{\tau_{trab}} \sqrt{(F_{Vi1} + F_{Vi2})^2 + (F_{Wi1} + F_{Wi2})^2}$$

Como debe cumplirse la relación (7-11)  $\tau_{adm} = S_{xy} \geq \tau_{trab}$  entonces:

$$A_{necesaria} \geq \frac{1}{S_{xy}} \sqrt{(F_{Vi1} + F_{Vi2})^2 + (F_{Wi1} + F_{Wi2})^2} \quad (7-15)$$

Verifico que para el  $A_{necesaria}$  seleccionada se cumpla:

$$S_{xy} \geq \tau_{trab} = \sqrt{\left(\frac{F_{Vi1} + F_{Vi2}}{A}\right)^2 + \left(\frac{F_{Wi1} + F_{Wi2}}{A}\right)^2 + \left(\frac{M_{UBi}}{Z_{Pu}}\right)^2} \quad (7-16)$$

VERIFICACIÓN:

Si el área de la biela fue correctamente dimensionada, deben cumplirse las relaciones (7-9) y (7-10):

- $\sigma_{adm T} = \sigma_1 \geq \sigma_{trab T}$  donde:

$$\sigma_{trab T} = \frac{N}{A} + \frac{M_{fV}}{I_V/w_{m\acute{a}x}} + \frac{M_{fW}}{I_W/v_{m\acute{a}x}} = \frac{0}{A} + \frac{F_{Wi1} * b_i + M_{VBi}}{I_V/w_{m\acute{a}x}} + \frac{F_{Vi1} * b_i}{I_W/v_{m\acute{a}x}} \quad (7-17)$$

- $\sigma_{adm C} = \sigma_3 \leq \sigma_{trab C}$  donde:

$$\sigma_{trab C} = -\frac{N}{A} - \frac{M_{fV}}{I_V/w_{m\acute{a}x}} - \frac{M_{fW}}{I_W/v_{m\acute{a}x}} = -\frac{(F_{Ui1} + F_{Ui2})}{A} - \frac{F_{Wi1} * b_i + M_{VBi}}{I_V/w_{m\acute{a}x}} - \frac{F_{Vi1} * b_i}{I_W/v_{m\acute{a}x}} \quad (7-18)$$

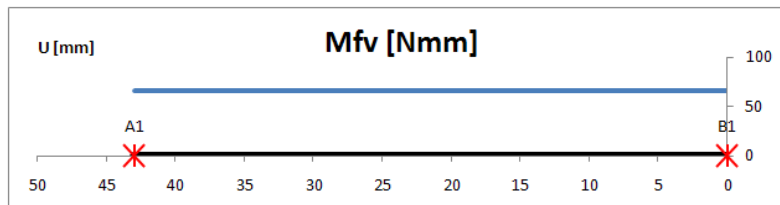
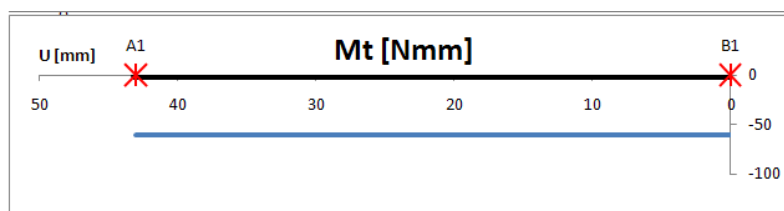
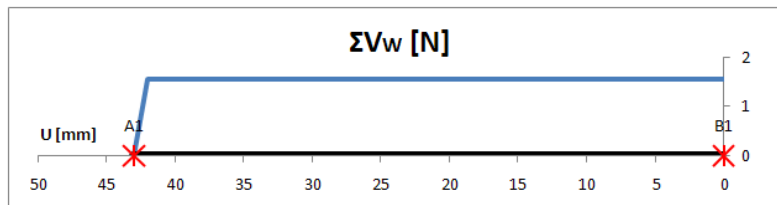
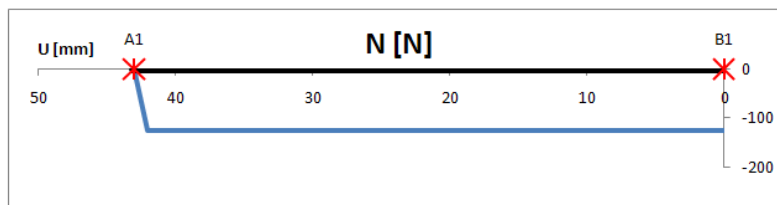
Para dimensionar cada biela se procederá primero calculando en Excel cada una de las componentes de fuerzas y momentos aplicados sobre las bielas con respecto al nuevo sistema de coordenadas (U, V, W). Utilizando las fórmulas deducidas al principio de esta sección se obtiene:

	Fiu1 [N]	Fiu2 [N]	Mubi [N]	Fiv1 [N]	Fiv2 [N]	Mvbi [N]	Fiw1 [N]	Fiw2 [N]	Mwbi [N]	M	$\gamma$
Biela 2	125,27	125,27	-61,21	0,00	0,00	-26,05	1,55	1,55	0,00	66,52	0,99
Biela 4	28,52	28,52	-85,00	0,00	0,00	-28,76	1,55	1,55	0,00	89,73	0,95
Biela 6	67,44	67,44	-88,38	0,00	0,00	-15,48	1,55	1,55	0,00	89,73	1,66
Biela 8	19,73	19,73	-30,02	0,00	0,00	-14,31	0,77	0,77	0,00	33,26	1,79
Biela 12	176,66	176,66	-61,95	0,00	0,00	-24,23	1,55	1,55	0,00	66,52	0,96
Biela 14	27,66	27,66	-84,97	0,00	0,00	-28,83	1,55	1,55	0,00	89,73	0,95
Biela 16	4,55	4,55	-14,26	0,00	0,00	-42,54	0,77	0,77	0,00	44,86	2,73
Biela 22	79,34	79,34	-58,37	0,00	0,00	-31,92	1,55	1,55	0,00	66,52	1,08
Biela 24	24,52	24,52	-72,07	0,00	0,00	-53,46	1,55	1,55	0,00	89,73	1,26
Biela 26	55,53	55,53	-88,12	0,00	0,00	-16,90	1,55	1,55	0,00	89,73	1,67
Biela 28	26,88	26,88	-30,81	0,00	0,00	-12,53	0,77	0,77	0,00	33,26	1,73

Para identificar la sección más solicitada de cada biela, se procederá a calcular los esfuerzos de tracción/compresión, corte, y momentos flectores y torsor en función de la coordenada U, para cada una de las bielas. A continuación se muestra el resultado obtenido en la biela 2, con sus respectivas gráficas:

BIELA 2						
U [mm]	N [N]	$\Sigma Vv$ [N]	$\Sigma Vw$ [N]	Mt [Nmm]	Mfv [Nmm]	Mfw [Nmm]
0	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
1	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
2	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
3	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
4	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
5	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
6	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
7	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
8	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
9	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
10	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
11	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
12	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
13	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
14	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
15	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
16	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
17	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
18	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
19	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
20	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
21	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
22	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
23	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
24	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
25	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00

26	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
27	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
28	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
29	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
30	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
31	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
32	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
33	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
34	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
35	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
36	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
37	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
38	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
39	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
40	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
41	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
42	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
43	0,00	0,00	0,00	-61,21	66,52	0,00



Realizando el procedimiento anterior para cada una de las bielas se concluye que las secciones más solicitadas de cada biela son:

**Sección más solicitada:**

		N [N]	$\Sigma V_v$ [N]	$\Sigma V_w$ [N]	M <sub>t</sub> [Nmm]	M <sub>fv</sub> [Nmm]	M <sub>fw</sub> [Nmm]
BIELA 2	0 < U < b	-125,27	0,00	1,55	-61,21	66,52	0,00
BIELA 4	0 < U < b	-28,52	0,00	1,55	-85,00	89,73	0,00
BIELA 6	0 < U < b	-67,44	0,00	1,55	-88,38	89,73	0,00
BIELA 8	0 < U < b	-19,73	0,00	0,77	-30,02	33,26	0,00
BIELA 12	0 < U < b	-176,66	0,00	1,55	-61,95	66,52	0,00
BIELA 14	0 < U < b	-27,66	0,00	1,55	-84,97	89,73	0,00
BIELA 16	0 < U < b	-4,55	0,00	0,77	-14,26	44,86	0,00
BIELA 22	0 < U < b	-79,34	0,00	1,55	-58,37	66,52	0,00
BIELA 24	0 < U < b	-24,52	0,00	1,55	-72,07	89,73	0,00
BIELA 26	0 < U < b	-55,53	0,00	1,55	-88,12	89,73	0,00
BIELA 28	0 < U < b	-26,88	0,00	0,77	-30,81	33,26	0,00

Luego se procede a calcular el área mínima necesaria utilizando la fórmula (7-15), se elige un tipo de sección y se adopta una dimensión que sea mayor a la mínima necesaria. Por último, para comprobar que el dimensionamiento fue correctamente realizado, se realizan tres verificaciones utilizando las fórmulas (7-16), (7-17) y (7-18). Finalmente se obtiene:

PIEZA	MATERIAL ADOPTADO	CÁLCULO ÁREA NECESARIA	SECCIÓN ELEGIDA	CÁLCULO DIMENSIÓN NECESARIA		DIMENSIÓN ADOPTADA [mm]				CARACT SECCIÓN ADOPTADA				VERIFICACIÓN	
				lado mayor	lado menor	lado mayor	lado menor	A [mm <sup>2</sup> ]	Z <sub>x</sub> [mm <sup>3</sup> ]	S <sub>x</sub> [mm <sup>3</sup> ]	S <sub>y</sub> [mm <sup>3</sup> ]	1	σ <sub>trab t</sub>	2	σ <sub>trab c</sub>
Biela 2	PP	0,13	Rectangular	0,45 lado mayor	0,30 lado menor	10,00 lado mayor	5,00 lado menor	50,00	104,17	41,67	83,33	1,60	OK	-4,10	OK
Biela 4	PP	0,13	Rectangular	0,45 lado mayor	0,30 lado menor	10,00 lado mayor	5,00 lado menor	50,00	104,17	41,67	83,33	2,15	OK	-2,72	OK
Biela 6	PP	0,13	Rectangular	0,45 lado mayor	0,30 lado menor	10,00 lado mayor	5,00 lado menor	50,00	104,17	41,67	83,33	2,15	OK	-3,50	OK
Biela 8	PP	0,07	Rectangular	0,32 lado mayor	0,21 lado menor	10,00 lado mayor	5,00 lado menor	50,00	104,17	41,67	83,33	0,80	OK	-1,19	OK
Biela 12	PP	0,13	Rectangular	0,45 lado mayor	0,30 lado menor	10,00 lado mayor	5,00 lado menor	50,00	104,17	41,67	83,33	1,60	OK	-5,13	OK
Biela 14	PP	0,13	Rectangular	0,45 lado mayor	0,30 lado menor	10,00 lado mayor	5,00 lado menor	50,00	104,17	41,67	83,33	2,15	OK	-2,71	OK
Biela 16	PP	0,07	Rectangular	0,32 lado mayor	0,21 lado menor	10,00 lado mayor	5,00 lado menor	50,00	104,17	41,67	83,33	1,08	OK	-1,17	OK
Biela 22	PP	0,13	Rectangular	0,45 lado mayor	0,30 lado menor	10,00 lado mayor	5,00 lado menor	50,00	104,17	41,67	83,33	1,60	OK	-3,18	OK
Biela 24	PP	0,13	Rectangular	0,45 lado mayor	0,30 lado menor	10,00 lado mayor	5,00 lado menor	50,00	104,17	41,67	83,33	2,15	OK	-2,64	OK
Biela 26	PP	0,13	Rectangular	0,45 lado mayor	0,30 lado menor	10,00 lado mayor	5,00 lado menor	50,00	104,17	41,67	83,33	2,15	OK	-3,26	OK
Biela 28	PP	0,07	Rectangular	0,32 lado mayor	0,21 lado menor	10,00 lado mayor	5,00 lado menor	50,00	104,17	41,67	83,33	0,80	OK	-1,34	OK

### 7.7.3 - Guías de costilla

Primero se procederá a realizar el dimensionamiento de las guías de costilla de manera genérica, y luego se calculará la sección necesaria de las guías utilizando programación en Excel.

El sistema de referencia considerado en el análisis estático es válido para el siguiente estudio. Por lo tanto, las fuerzas y los momentos actuantes en la guía de costilla genérica  $i$ , que se definieron en el capítulo 6 con respecto a los ejes X, Y, Z se utilizarán para este estudio:

$$\begin{aligned}
 R_{Ei1} &= (-R_{XEi1}; R_{YEi1}; -R_{ZEi1}) & M_{Fi1} &= (0; -M_{YFi1}; -M_{ZFi1}) \\
 M_{Ei1} &= (-M_{XEi1}; M_{YEi1}; -M_{ZEi1}) & R_{Ci1'} &= (R_{XCi1'}; -R_{YCi1'}; -R_{ZCi1'}) \\
 R_{Ci1} &= (-R_{XCi1}; -R_{YCi1}; -R_{ZCi1}) & M_{Ci1'} &= (M_{XCi1'}; M_{YCi1'}; -M_{ZCi1'}) \\
 M_{Ci1} &= (-M_{XCi1}; M_{YCi1}; -M_{ZCi1}) & R_{Ci2'} &= (R_{XCi2'}; -R_{YCi2'}; -R_{ZCi2'}) \\
 R_{Ci2} &= (-R_{XCi2}; -R_{YCi2}; -R_{ZCi2}) & M_{Ci2'} &= (M_{XCi2'}; M_{YCi2'}; -M_{ZCi2'}) \\
 M_{Ci2} &= (-M_{XCi2}; M_{YCi2}; -M_{ZCi2}) & R_{Ci3'} &= (-R_{XCi3'}; -R_{YCi3'}; -R_{ZCi3'}) \\
 R_{Ci3} &= (R_{XCi3}; -R_{YCi3}; -R_{ZCi3}) & M_{Ci3'} &= (M_{XCi3'}; M_{YCi3'}; -M_{ZCi3'}) \\
 M_{Ci3} &= (-M_{XCi3}; M_{YCi3}; -M_{ZCi3}) & R_{Ci4'} &= (-R_{XCi4'}; -R_{YCi4'}; -R_{ZCi4'}) \\
 R_{Ci4} &= (R_{XCi4}; -R_{YCi4}; -R_{ZCi4}) & M_{Ci4'} &= (M_{XCi4'}; M_{YCi4'}; -M_{ZCi4'}) \\
 M_{Ci4} &= (-M_{XCi4}; M_{YCi4}; -M_{ZCi4}) & R_{Ji1'} &= (-R_{XJi1'}; 0; 0) \\
 R_{Ji1} &= (R_{XJi1}; 0; 0) & R_{Fi1'} &= (0; -R_{YFi1'}; 0) \\
 R_{Fi1} &= (0; -R_{YFi1}; 0) & M_{Fi1'} &= (0; -M_{YFi1'}; -M_{ZFi1'})
 \end{aligned}$$

Las componentes de fuerzas y momentos aplicadas en la guía de costilla producen los esfuerzos de:

- **Tracción/Compresión:**

$$-R_{XEi1}, -R_{XCi1}, -R_{XCi2}, -R_{YCi3}, -R_{YCi4}, -R_{YFi1}, R_{XCi1'}, R_{XCi2'}, -R_{YCi3'}, -R_{YCi4'}, -R_{YFi1'}$$

- **Corte en plano XY:**

$$R_{YEi1}, -R_{YCi1}, -R_{YCi2}, R_{XJi1}, R_{XCi3}, R_{XCi4}, -R_{YCi1'}, -R_{YCi2'}, -R_{XCi3'}, -R_{XCi4'}, -R_{XJi1'}$$

- **Corte en eje Z:**

$$-R_{ZEi1}, -R_{ZCi1}, -R_{ZCi2}, -R_{ZCi3}, -R_{ZCi4}, -R_{ZCi1'}, -R_{ZCi2'}, -R_{ZCi3'}, -R_{ZCi4'}$$

- **Torsión:**

$$M_{XEi1}, M_{XCi1}, M_{XCi2}, M_{YFi1}, M_{YCi3}, M_{YCi4}, M_{XCi1'}, M_{XCi2'}, M_{YFi1'}, M_{YCi3'}, M_{YCi4'}$$

- **Flexión en plano XZ:**

$$\begin{aligned}
 &-R_{ZEi1}, -R_{ZCi1}, -R_{ZCi2}, -R_{ZCi3}, -R_{ZCi4}, -R_{ZCi1'}, -R_{ZCi2'}, -R_{ZCi3'}, -R_{ZCi4'} \\
 &-M_{ZEi1}, -M_{ZCi1}, -M_{ZCi2}, -M_{ZCi3}, -M_{ZCi4}, -M_{ZCi1'}, -M_{ZCi2'}, -M_{ZCi3'}, -M_{ZCi4'}, -M_{ZFi1}, -M_{ZFi1'}
 \end{aligned}$$

- **Flexión en plano XY:**

$$\begin{aligned}
 &R_{YEi1}, -R_{YCi1}, -R_{YCi2}, R_{XJi1}, R_{XCi3}, R_{XCi4}, -R_{YCi1'}, -R_{YCi2'}, -R_{XCi3'}, -R_{XCi4'}, -R_{XJi1'} \\
 &-M_{ZEi1}, -M_{ZCi1}, -M_{ZCi2}, -M_{ZCi3}, -M_{ZCi4}, -M_{ZCi1'}, -M_{ZCi2'}, -M_{ZCi3'}, -M_{ZCi4'}, -M_{ZFi1}, -M_{ZFi1'}
 \end{aligned}$$

PRE-DISEÑO:

$$\tau_{trab} = \sqrt{(\tau_{XY})^2 + (\tau_{XZ})^2 + (\tau_{ZZ})^2} = \sqrt{\left(\frac{\sum V_Y}{A}\right)^2 + \left(\frac{\sum V_Z}{A}\right)^2 + \left(\frac{M_t}{J_Y/r_{m\acute{a}x}}\right)^2}$$

Supongo

$$\tau_{trab} = \sqrt{\left(\frac{\sum V_Y}{A}\right)^2 + \left(\frac{\sum V_Z}{A}\right)^2} = \frac{1}{A} \sqrt{(\sum V_Y)^2 + (\sum V_Z)^2}$$

Entonces,

$$A = \frac{1}{\tau_{trab}} \sqrt{(\sum V_Y)^2 + (\sum V_Z)^2}$$

Como debe cumplirse la relación (7-11)  $\tau_{adm} = S_{xy} \geq \tau_{trab}$  entonces:

$$A_{necesaria} \geq \frac{1}{S_{xy}} \sqrt{(\sum V_Y)^2 + (\sum V_Z)^2} \quad (7-19)$$

Verifico que para el  $A_{necesaria}$  seleccionada se cumpla:

$$S_{xy} \geq \tau_{trab} = \sqrt{\left(\frac{\sum V_Y}{A}\right)^2 + \left(\frac{\sum V_Z}{A}\right)^2 + \left(\frac{M_t}{J_Y/r_{m\acute{a}x}}\right)^2} \quad (7-20)$$

VERIFICACIÓN:

Si el área de la biela fue correctamente dimensionada, deben cumplirse las relaciones (7-9) y (7-10):

- $\sigma_{adm T} = \sigma_1 \geq \sigma_{trab T}$  donde:

$$\sigma_{trab T} = \frac{N}{A} + \frac{M_{fY}}{I_Y/z_{m\acute{a}x}} + \frac{M_{fZ}}{I_Z/y_{m\acute{a}x}} \quad (7-21)$$

- $\sigma_{adm C} = \sigma_3 \leq \sigma_{trab C}$  donde:

$$\sigma_{trab C} = -\frac{N}{A} - \frac{M_{fY}}{I_Y/z_{m\acute{a}x}} - \frac{M_{fZ}}{I_Z/y_{m\acute{a}x}} \quad (7-22)$$

Para identificar la sección más solicitada de la guía de costilla, se procederá a calcular los esfuerzos de tracción/compresión, corte, y momentos flectores y torsor en función de la coordenada X e Y. A continuación se muestra el resultado obtenido en la guía superior de costilla, con sus respectivas gráficas. (Solo se muestra en este informe un extracto de la tabla de datos utilizada, para visualizar la tabla completa debe ver el archivo Excel del trabajo)

X [mm]	N [N]	$\Sigma V_y$ [N]	$\Sigma V_z$ [N]	$M_t$ [Nmm]	$M_{fy}$ [Nmm]	$M_{fz}$ [Nmm]
-200	0,00	0,00	0,00	0,00	12795,29	-928,23
-199	0,00	0,00	0,00	0,00	12750,03	-923,59
-198	0,00	0,00	0,00	0,00	12704,78	-918,95
-197	0,00	0,00	0,00	0,00	12659,52	-914,31
-196	0,00	0,00	0,00	0,00	12614,27	-909,66
-195	0,00	0,00	0,00	0,00	12569,01	-905,02
-194	0,00	0,00	0,00	0,00	12523,76	-900,38
-193	0,00	0,00	0,00	0,00	12478,51	-895,74

*Extracto de tabla de cálculo*

## LADO IZQUIERDO

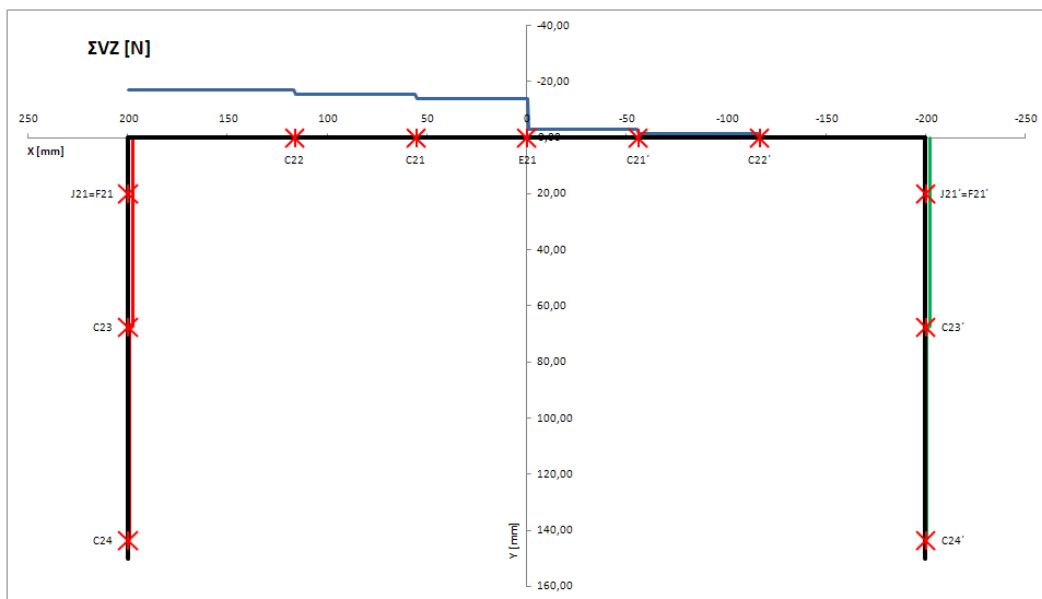
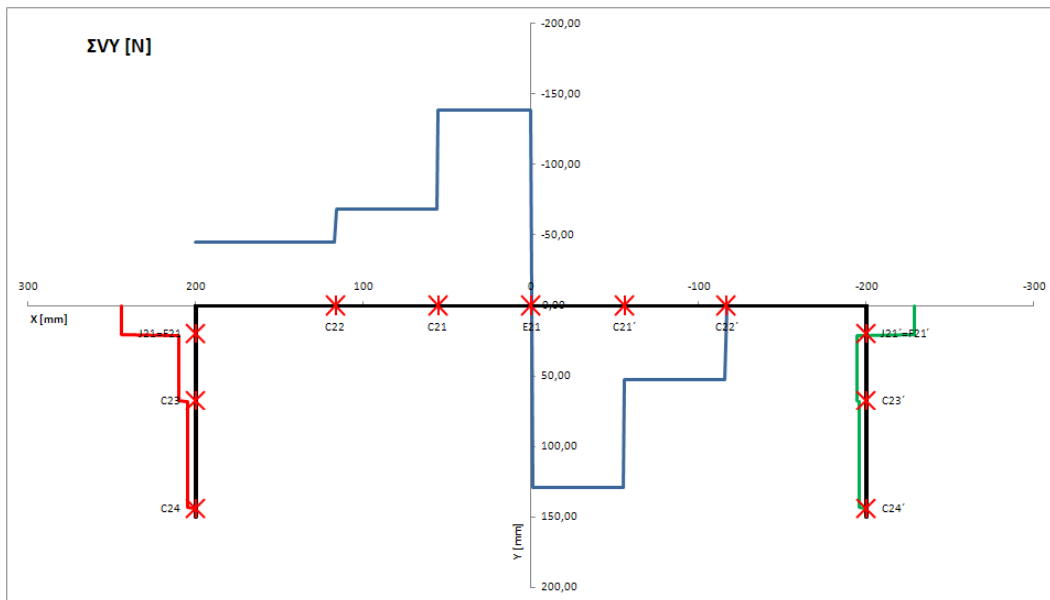
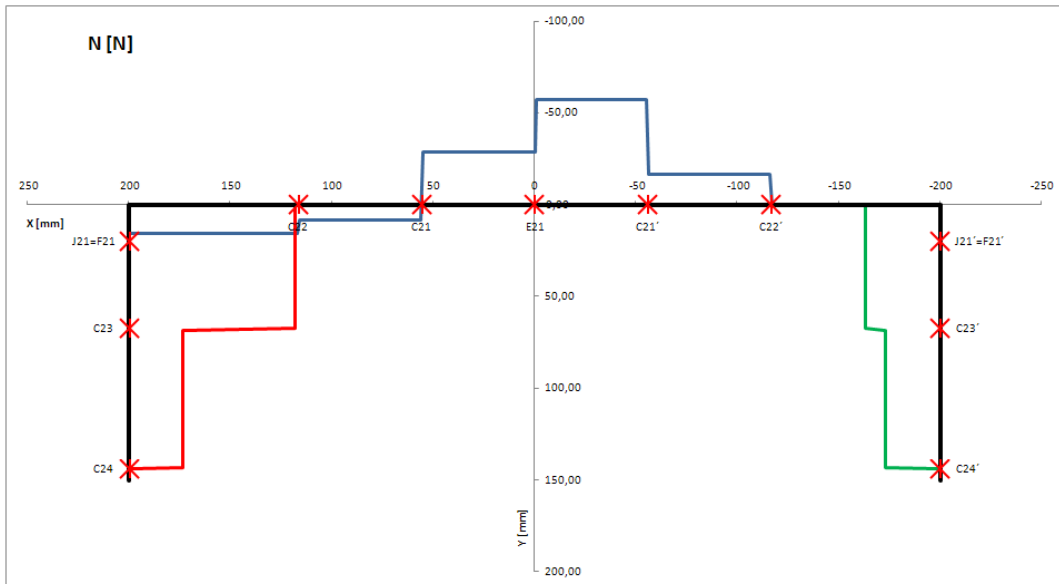
Y [mm]	N [N]	$\Sigma V_y$ [N]	$\Sigma V_z$ [N]	$M_t$ [Nmm]	$M_{fy}$ [Nmm]	$M_{fz}$ [Nmm]
0	-81,76	44,25	-2,32	-65,69	-1697,91	-215,55
1	-81,76	44,25	-2,32	-65,69	-1653,66	-213,22
2	-81,76	44,25	-2,32	-65,69	-1609,42	-210,90
3	-81,76	44,25	-2,32	-65,69	-1565,17	-208,58
4	-81,76	44,25	-2,32	-65,69	-1520,92	-206,26
5	-81,76	44,25	-2,32	-65,69	-1476,67	-203,94
6	-81,76	44,25	-2,32	-65,69	-1432,42	-201,62
7	-81,76	44,25	-2,32	-65,69	-1388,18	-199,30

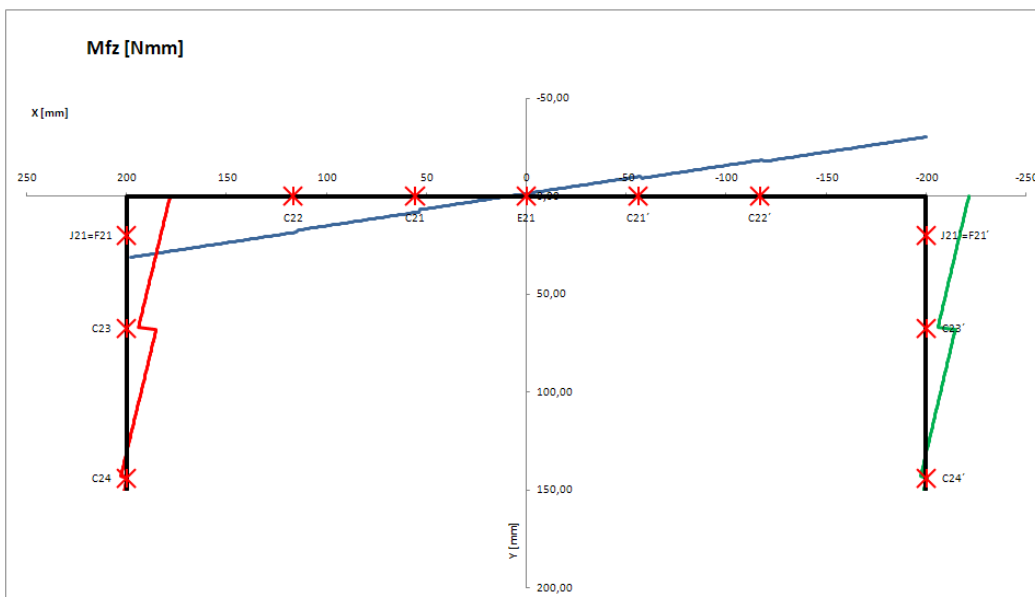
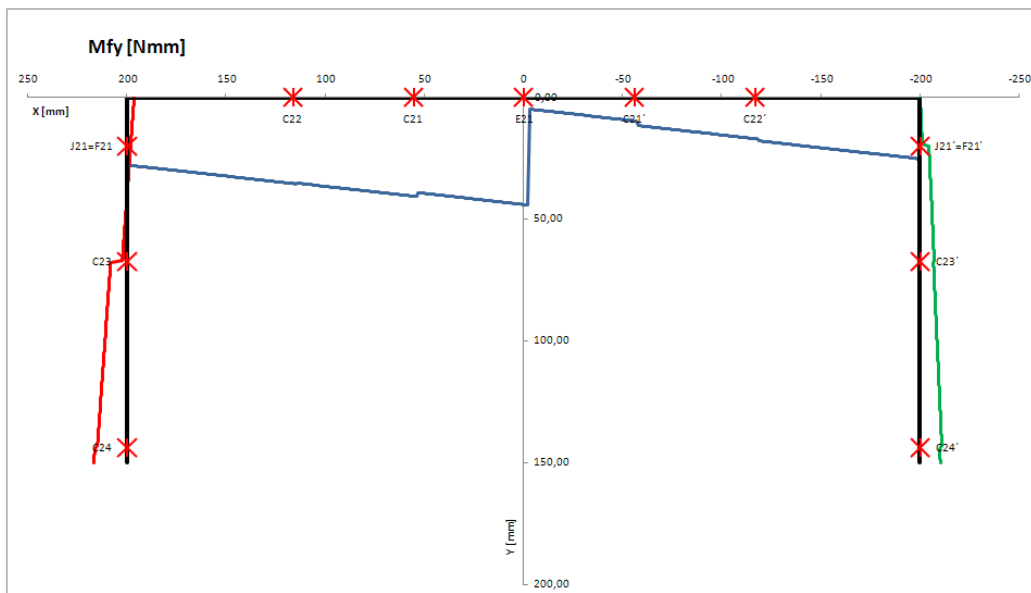
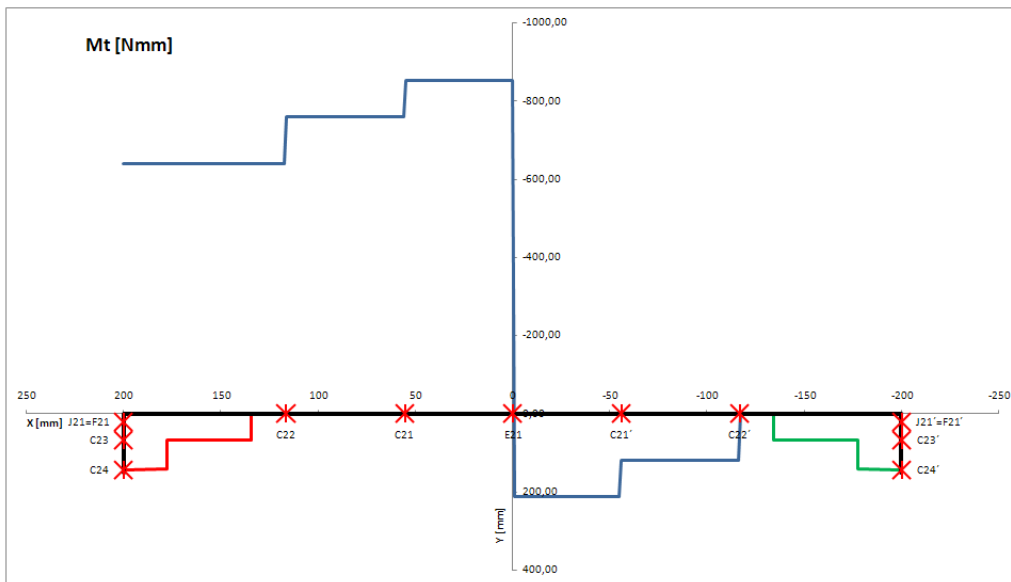
*Extracto de tabla de cálculo*

## LADO DERECHO (PRIMA: ' )

Y [mm]	N [N]	$\Sigma V_y$ [N]	$\Sigma V_z$ [N]	$M_t$ [Nmm]	$M_{fy}$ [Nmm]	$M_{fz}$ [Nmm]
0	36,50	-28,75	-2,32	65,69	-16,66	-215,55
1	36,50	-28,75	-2,32	65,69	-45,41	-213,22
2	36,50	-28,75	-2,32	65,69	-74,16	-210,90
3	36,50	-28,75	-2,32	65,69	-102,91	-208,58
4	36,50	-28,75	-2,32	65,69	-131,66	-206,26
5	36,50	-28,75	-2,32	65,69	-160,41	-203,94
6	36,50	-28,75	-2,32	65,69	-189,16	-201,62
7	36,50	-28,75	-2,32	65,69	-217,91	-199,30

*Extracto de tabla de cálculo*





Analizando las gráficas anteriores se concluye que las secciones más solicitadas de la guía de costilla son:

### Sección más solicitada:

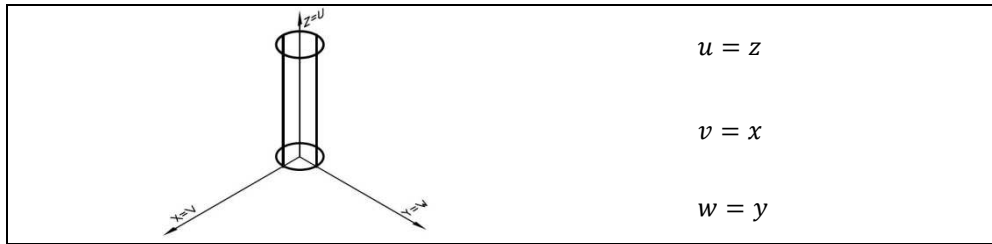
	N [N]	$\Sigma V_v$ [N]	$\Sigma V_w$ [N]	Mt [Nmm]	Mfv [Nmm]	Mfw [Nmm]
0 < Y < Y_J21	-81,76	44,25	-2,32	-65,69	-1697,91	-215,55
Y_C24 < Y < 150	0,00	0,00	0,00	0,00	8446,16	10,47
X_C21' < X < 0	-57,12	128,76	-3,09	212,33	4976,62	-313,74
0 < X < X_C21	-29,06	-138,75	-13,92	-852,50	22069,58	-53,84
X_C22' < X < 200	15,50	-45,25	-17,02	-640,17	14044,17	928,23

Luego se procede a calcular el área mínima necesaria utilizando la fórmula (7-19), se elige un tipo de sección y se adopta una dimensión que sea mayor a la mínima necesaria. Por último, para comprobar que el dimensionamiento fue correctamente realizado, se realizan tres verificaciones utilizando las fórmulas (7-20), (7-21) y (7-22). Finalmente se obtiene:

PIEZA	MATERIAL ADOPTADO	CÁLCULO ÁREA NECESARIA [mm <sup>2</sup> ]	SECCIÓN ELEGIDA	CÁLCULO DIMENSIÓN NECESARIA [mm]		DIMENSIÓN ADOPTADA [mm]				CARACT SECCIÓN ADOPTADA				VERIFICACIÓN 0	VERIFICACIÓN 1	VERIFICACIÓN 2			
				diám ext	diám int	A [mm <sup>2</sup> ]	ZP [mm <sup>3</sup> ]	Sv [mm <sup>3</sup> ]	Sv [mm <sup>3</sup> ]	T <sub>trab</sub>	$\sigma_{trab T}$	$\sigma_{trab C}$							
Guía Costilla Sup	PP	12,17	Tubo redondo	4,54	2,27	20,00	7,00	diám ext	diám int	275,67	12377,80	28335,24	28335,24	0,51	OK	0,78	OK	-0,89	OK

### 7.7.4 - Soporte central

Sea el nuevo sistema de referencia U, V, W tal que el eje U coincida con el eje del soporte central. Entonces para cualquier punto genérico P de coordenadas (x, y, z) se puede redefinir como P (u, v, w) siendo:



Por lo tanto, las fuerzas y los momentos actuantes en el soporte central que se definieron en el capítulo 6 con respecto a los ejes X, Y, Z como:

$$R_{D1} = (R_{XD1}; -R_{YD1}; -R_{ZD1})$$

$$M_{D1} = (M_{XD1}; -M_{YD1}; -M_{ZD1})$$

$$R_{D11} = (R_{XD11}; -R_{YD11}; -R_{ZD11})$$

$$M_{D11} = (M_{XD11}; -M_{YD11}; -M_{ZD11})$$

$$R_{D21} = (R_{XD21}; -R_{YD21}; -R_{ZD21})$$

$$M_{D21} = (M_{XD21}; -M_{YD21}; -M_{ZD21})$$

$$R_{K1} = (-R_{XK1}; 0; R_{ZK1})$$

$$M_{K1} = (-M_{XK1}; 0; M_{ZK1})$$

$$R_{K2} = (-R_{XK2}; 0; R_{ZK2})$$

$$M_{K2} = (-M_{XK2}; 0; M_{ZK2})$$

$$R_{P1} = (0; R_{YP1}; 0)$$

$$M_{P1} = (0; M_{YP1}; 0)$$

Pueden redefinirse con respecto a los ejes coordenados U, V, W como:

$$R_{D1} = (R_{UD1} = R_{ZD1}; \quad R_{VD1} = R_{XD1}; \quad R_{WD1} = R_{YD1})$$

$$M_{D1} = (M_{UD1} = M_{ZD1}; \quad M_{VD1} = M_{XD1}; \quad M_{WD1} = M_{YD1})$$

$$R_{D11} = (R_{UD11} = R_{ZD11}; \quad R_{VD11} = R_{XD11}; \quad R_{WD11} = R_{YD11})$$

$$M_{D11} = (M_{UD11} = M_{ZD11}; \quad M_{VD11} = M_{XD11}; \quad M_{WD11} = M_{YD11})$$

$$R_{D21} = (R_{UD21} = R_{ZD21}; \quad R_{VD21} = R_{XD21}; \quad R_{WD21} = R_{YD21})$$

$$M_{D21} = (M_{UD21} = M_{ZD21}; \quad M_{VD21} = M_{XD21}; \quad M_{WD21} = M_{YD21})$$

$$R_{K1} = (R_{UK1} = R_{ZK1}; \quad R_{VK1} = R_{XK1}; \quad R_{WK1} = 0)$$

$$M_{K1} = (M_{UK1} = M_{ZK1}; \quad M_{VK1} = M_{XK1}; \quad M_{WK1} = 0)$$

$$R_{K2} = (R_{UK2} = R_{ZK2}; \quad R_{VK2} = R_{XK2}; \quad R_{WK2} = 0)$$

$$M_{K2} = (M_{UK2} = M_{ZK2}; \quad M_{VK2} = M_{XK2}; \quad M_{WK2} = 0)$$

$$R_{P1} = (R_{UP1} = 0; \quad R_{VP1} = 0; \quad R_{WP1} = R_{YP1})$$

$$M_{P1} = (M_{UP1} = 0; \quad M_{VP1} = 0; \quad M_{WP1} = M_{YP1})$$

Las componentes de las fuerzas y momentos aplicadas en el soporte central producen los esfuerzos de:

- Tracción/Compresión:

$$R_{UD1}, R_{UD11}, R_{UD21}, R_{UK1}, R_{UK2}$$

- Corte en eje V:

$$R_{VD1}, R_{VD11}, R_{VD21}, R_{VK1}, R_{VK2}$$

- Corte en eje W:

$$R_{WD1}, R_{WD11}, R_{WD21}, R_{WP1}$$

- Torsión:

$$M_{UD1}, M_{UD11}, M_{UD21}, M_{UK1}, M_{UK2}$$

- Flexión en plano UW:

$$R_{WD1}, R_{WD11}, R_{WD21}, R_{WP1}$$
$$M_{VD1}, M_{VD11}, M_{VD21}, M_{VK1}, M_{VK2}$$

- Flexión en plano UV:

$$R_{VD1}, R_{VD11}, R_{VD21}, R_{VK1}, R_{VK2}$$
$$M_{WD1}, M_{WD11}, M_{WD21}, M_{WP1}$$

PRE-DISEÑO:

$$\tau_{trab} = \sqrt{(\tau_{UV})^2 + (\tau_{UW})^2 + (\tau_{WU})^2} = \sqrt{\left(\frac{\sum V_V}{A}\right)^2 + \left(\frac{\sum V_W}{A}\right)^2 + \left(\frac{M_t}{J_V/r_{m\acute{a}x}}\right)^2}$$

Supongo

$$\tau_{trab} = \sqrt{\left(\frac{\sum V_V}{A}\right)^2 + \left(\frac{\sum V_W}{A}\right)^2} = \frac{1}{A} \sqrt{(\sum V_V)^2 + (\sum V_W)^2}$$

Entonces,

$$A = \frac{1}{\tau_{trab}} \sqrt{(\sum V_V)^2 + (\sum V_W)^2}$$

Como debe cumplirse la relación (7-11)  $\tau_{adm} = S_{xy} \geq \tau_{trab}$  entonces:

$$A_{necesaria} \geq \frac{1}{S_{xy}} \sqrt{(\sum V_V)^2 + (\sum V_W)^2} \quad (7-23)$$

Verifico que para el  $A_{necesaria}$  seleccionada se cumpla:

$$S_{xy} \geq \tau_{trab} = \sqrt{\left(\frac{\sum V_V}{A}\right)^2 + \left(\frac{\sum V_W}{A}\right)^2 + \left(\frac{M_t}{J_V/r_{m\acute{a}x}}\right)^2} \quad (7-24)$$

VERIFICACIÓN:

Si el área del soporte central fue correctamente dimensionada, deben cumplirse las relaciones (7-9) y (7-10):

- $\sigma_{adm T} = \sigma_1 \geq \sigma_{trab T}$  donde:

$$\sigma_{trab T} = \frac{N}{A} + \frac{M_{fV}}{I_V/w_{m\acute{a}x}} + \frac{M_{fW}}{I_W/v_{m\acute{a}x}} \quad (7-25)$$

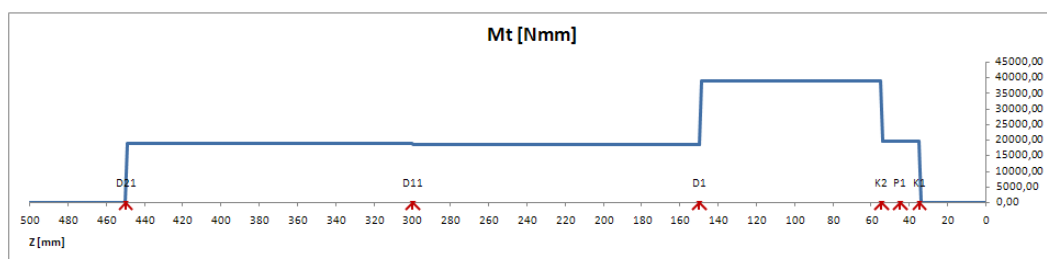
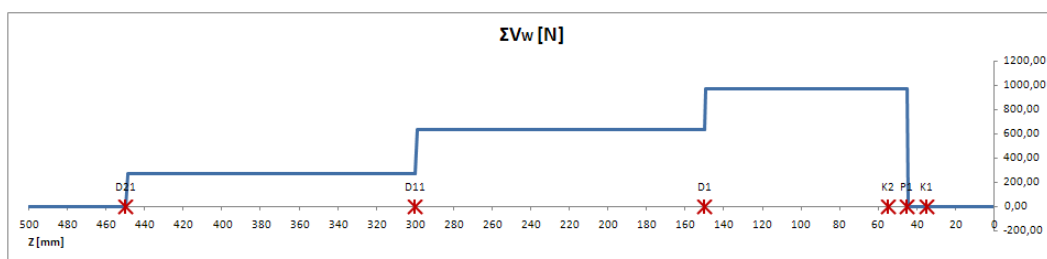
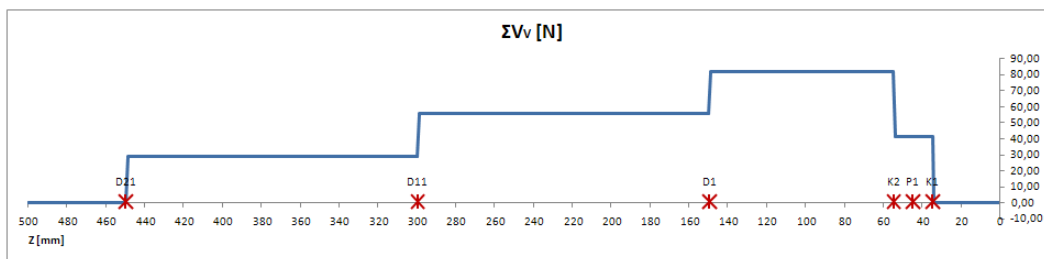
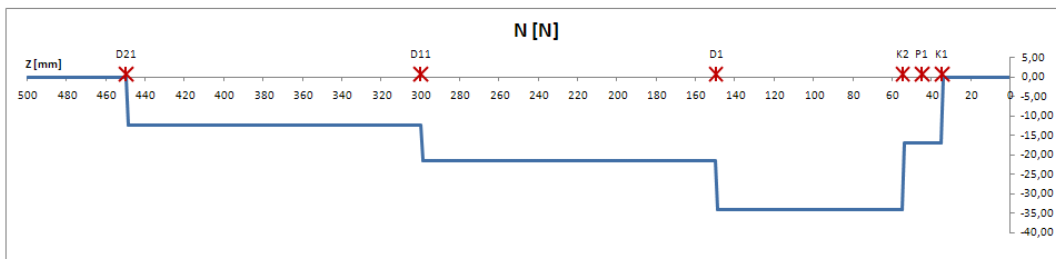
- $\sigma_{adm C} = \sigma_3 \leq \sigma_{trab C}$  donde:

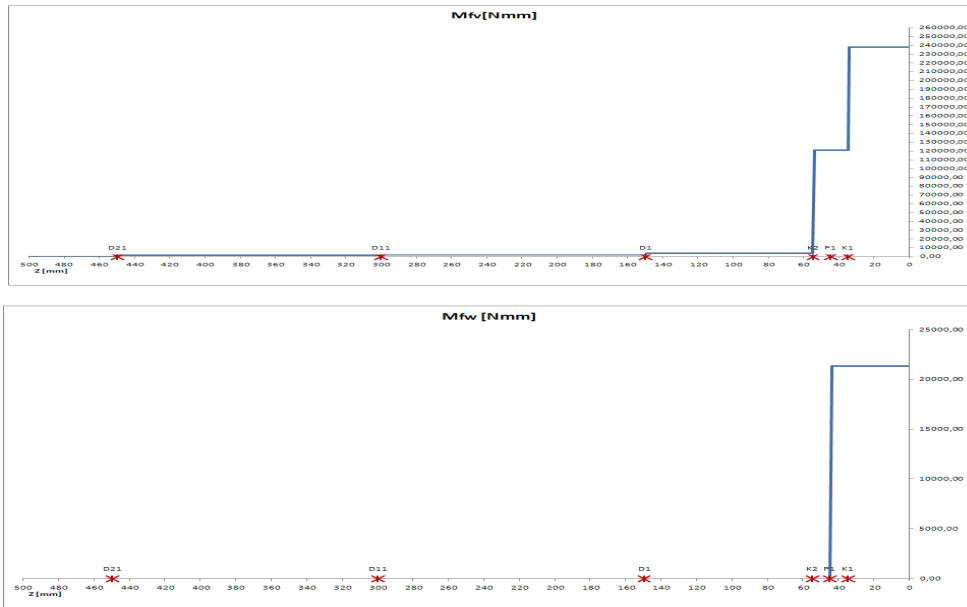
$$\sigma_{trab C} = -\frac{N}{A} - \frac{M_{fV}}{I_V/w_{m\acute{a}x}} - \frac{M_{fW}}{I_W/v_{m\acute{a}x}} \quad (7-26)$$

Para identificar la sección más solicitada del soporte central, se procederá a calcular los esfuerzos de tracción/compresión, corte, y momentos flectores y torsor en función de la coordenada Z. A continuación se muestra el resultado obtenido, con sus respectivas gráficas. (Solo se muestra en este informe un extracto de la tabla de datos utilizada, para visualizar la tabla completa debe ver el archivo Excel del trabajo)

Z [mm]	N [N]	$\Sigma V_v$ [N]	$\Sigma V_w$ [N]	M <sub>t</sub> [Nmm]	M <sub>f<sub>v</sub></sub> [Nmm]	M <sub>f<sub>w</sub></sub> [Nmm]
0	0,00	0,00	0,00	0,00	238296,84	21357,04
1	0,00	0,00	0,00	0,00	238296,84	21357,04
2	0,00	0,00	0,00	0,00	238296,84	21357,04
3	0,00	0,00	0,00	0,00	238296,84	21357,04
4	0,00	0,00	0,00	0,00	238296,84	21357,04
5	0,00	0,00	0,00	0,00	238296,84	21357,04
6	0,00	0,00	0,00	0,00	238296,84	21357,04
7	0,00	0,00	0,00	0,00	238296,84	21357,04

Extracto de tabla de cálculo





Analizando las gráficas anteriores se concluye que las secciones más solicitadas del soporte central son:

### Sección más solicitada:

	N [N]	$\Sigma Vv$ [N]	$\Sigma Vw$ [N]	Mt [Nmm]	Mfv[Nmm]	Mfw [Nmm]
Z_K2 < z < Z_D1	-34,04	82,39	969,79	38910,04	3614,37	0,00
0 < z < Z_K1	0,00	0,00	0,00	0,00	238296,84	21357,04

Luego se procede a calcular el área mínima necesaria utilizando la fórmula (7-23), se elige un tipo de sección y se adopta una dimensión que sea mayor a la mínima necesaria. Por último, para comprobar que el dimensionamiento fue correctamente realizado, se realizan tres verificaciones utilizando las fórmulas (7-24), (7-25) y (7-26). Finalmente se obtiene:

PIEZA	MATERIAL ADOPTADO	CÁLCULO ÁREA NECESARIA [mm <sup>2</sup> ]	SECCIÓN ELEGIDA	CÁLCULO DIMENSIÓN NECESARIA [mm]	DIMENSIÓN ADOPTADA [mm]	CARACT SECCIÓN ADOPTADA				VERIFICACIÓN 0	VERIFICACIÓN 1	VERIFICACIÓN 2
						A [mm <sup>2</sup> ]	ZP[mm <sup>3</sup> ]	Sv[mm <sup>3</sup> ]	Sv[mm <sup>3</sup> ]	$\tau_{trab}$	$\sigma_{trab T}$	$\sigma_{trab C}$
SopORTE Central	PP	0,00	Tubo redondo	0,00 diám ext 0,00 diám int	30,00 diám ext 10,00 diám int	628,32	41887,90	96601,36	96601,36	0,00 OK	2,69 OK	-2,69 OK

### 7.7.5 - Pernos unión

El dimensionamiento de los pernos se realizará analizando los pernos al corte. Se calculará la sección necesaria de cada uno de los pernos utilizando programación en Excel.

	$F_{i-1,2}$ [N]	$F_i$ [N]	$F_{i+1,1}$ [N]	$i$
Perno A1	92,96	125,27	24,18	2
Perno A2	22,54	28,52	9,09	4
Perno A3	2,37	67,44	60,10	6
Perno A4	59,46	19,73	0,00	8
Perno A11	124,11	176,66	22,73	2
Perno A12	20,97	27,66	24,82	4
Perno A13	23,22	4,55	0,00	6
Perno A21	52,80	79,34	16,20	2
Perno A22	13,62	24,52	9,03	4
Perno A23	2,12	55,53	251,58	6
Perno A24	251,43	26,88	0,00	8

PIEZA	CÁLCULO DIMENSIÓN NECESARIA	DIMENSIÓN ADOPTADA [mm]
Perno A1	0,62 diám mín	4,00 diám adop
Perno A2	0,15 diám mín	4,00 diám adop
Perno A3	0,33 diám mín	4,00 diám adop
Perno A4	0,19 diám mín	4,00 diám adop
Perno A11	0,83 diám mín	4,00 diám adop
Perno A12	0,18 diám mín	4,00 diám adop
Perno A13	0,07 diám mín	4,00 diám adop
Perno A21	0,38 diám mín	4,00 diám adop
Perno A22	0,12 diám mín	4,00 diám adop
Perno A23	0,74 diám mín	4,00 diám adop
Perno A24	0,66 diám mín	4,00 diám adop
Perno B1	0,91 diám mín	4,00 diám adop
Perno B2	0,21 diám mín	4,00 diám adop
Perno B3	0,49 diám mín	4,00 diám adop
Perno B4	0,14 diám mín	4,00 diám adop
Perno B11	1,29 diám mín	4,00 diám adop
Perno B12	0,20 diám mín	4,00 diám adop
Perno B13	0,03 diám mín	4,00 diám adop
Perno B21	0,58 diám mín	4,00 diám adop
Perno B22	0,18 diám mín	4,00 diám adop
Perno B23	0,40 diám mín	4,00 diám adop
Perno B24	0,20 diám mín	4,00 diám adop
Perno K1	0,32 diám mín	10,00 diám adop
Perno K2	0,32 diám mín	10,00 diám adop

## 7.8 - REFERENCIAS

- [1] Mott, R. – *Diseño de Elementos de Máquinas* – Pearson, 4ª edición, 2006
- [1.1] Villarino Otero, A. – *Ingeniería Civil, Teoría y Cálculo de Estructuras* – Escuela Politécnica Superior de Ávila
- [2] Ullman, D. G. – *Handbook of the Mechanical Design Process* – McGraw Hill, 4ª edición, 2010
- [3] Rosato, Dominick, Rosato, Donald y Rosato, Matthew – *Plastic Product Material and Process Selection Handbook* (1ª ed.). Elsevier Science & Technology Books, 2004.
- [4] Ermida, Élica Beatriz – *Módulo Materiales Poliméricos, Guía Didáctica* – Instituto Sábato, 2008
- [5] Rosato, D. et al. – *Plastics Design Handbook* – Kluwer Academic Publishers, 1ª edición, 2001
- [6] Shingley – *Diseño en Ingeniería Mecánica* – McGraw Hill, 8ª edición, 2007
- [7] Valderrey, M. – *Teoría de la Elasticidad* – UNR, 2011
- [8] NCEES – *Fundamentals of Engineering Supplied Reference Handbook* – NCEES, 5ª edición, 2001
- [9] Budynas, R. – *Advanced Strength and Applied Stress Analysis* – McGraw Hill, 2ª edición, 1999

## 8 - PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Ver plano constructivo EIM-01-08-M-001 en Anexo D.

## 9 - ESTUDIO ECONÓMICO

*Desarrollado con la orientación del profesor Jorge Enrique Bellina*

### 9.1 - ESTUDIO DEL MERCADO

#### 9.1.1 - Relevamiento de las Alternativas Actuales en la Región

Para conocer las alternativas que dispone hoy en día el usuario de silla de ruedas, se realizó un relevamiento por los siguientes negocios de ortopedia de Rosario: Schneider Ortopedia, Star Medical SRL, Ortopedia Barletta. Se concluyó que las opciones actuales son:

- Silla de ruedas estándar:

Precio de venta: 2.000 \$

Plegable: si

Respaldar: de tela



- Silla de ruedas con respaldar especial:

Precio de venta: 25.000 \$

Plegable: No

Respaldar: formado por apoyos de almohadones modificables en posición, y arnés para sostener el cuerpo en postura erguida.



### 9.1.2 - Estimación del mercado

La estimación del mercado se calculará considerando:

- Los resultados del último censo nacional realizado en los años 2010-2011, arrojan que 5.114.190 personas poseen algún tipo de dificultad o limitación permanente, representando el 12,9% de la población argentina. [1] En particular, 1.931.046 personas declararon tener dificultad motora inferior permanente (37,8% de la población con discapacidad). [2]
- La población del departamento Rosario es de 1.193.605 habitantes, según el censo nacional realizado en los años 2010-2011 [3]
- El mercado está formado por todo usuario de silla de ruedas, ya que el uso del dispositivo diseñado genera una mejora postural.
- El mercado será condicionado a la región del departamento Rosario.

Cálculo de la cantidad de habitantes del departamento Rosario que poseen algún tipo de dificultad o limitación permanente:

$$12,9\% \times 1.193.605 \text{ habitantes} = 153.975 \text{ hab c/dificultad permanente}$$

Cálculo de la cantidad de habitantes del departamento Rosario que poseen algún tipo de dificultad motora inferior permanente:

$$37,8\% \times 153.975 \text{ hab c/dificultad perm} = 58.200 \text{ hab c/dificultad motora inf permanente}$$

#### Conclusión:

Entonces se estima que el tamaño del mercado en el departamento Rosario es de **58.200 posibles clientes**.

## 9.2 - CÁLCULO DEL COSTO TOTAL

### 9.2.1 - Costo Variable

Los costos variables son aquellos costos proporcionales al volumen de producción. En este proyecto se consideró que el costo variable está formado por el costo de materia prima.

Para calcular el costo de materia prima, se realizó primero la estimación del costo de cada componente descrito en plano constructivo EIM-01-08-M-001, y luego se calculó el costo unitario total de materia prima.

ELEMENTO		CANT. NECESARIA	KG MATERIAL UNITARIO	PRECIO UNITARIO [€]	PRECIO TOTAL [€]
1	Soporte Transversal	1	1	\$ 120,00	\$ 120,00
2	Columna Central	1	0,3	\$ 36,00	\$ 36,00
3	Pasador de horquilla c/cabeza DIN 22341 Ø10x70mm	2	-	\$ 2,00	\$ 4,00
4	Pasador de aleta DIN 94 Ø3,2x18mm	2	-	\$ 2,00	\$ 4,00
5	Manguito de montaje FAG H2307	3	-	\$ 30,00	\$ 90,00
7	Arandela de seguridad FAG MB7	3	-	\$ 10,00	\$ 30,00
8	Tuerca de seguridad FAG KM7	3	-	\$ 20,00	\$ 60,00
11	Traba	2	0,017	\$ 2,04	\$ 4,08
12	Pasador de horquilla c/cabeza DIN 22341 Ø6x35mm	2	-	\$ 2,00	\$ 4,00
13	Pasador de aleta DIN 94 Ø6x8mm	2	-	\$ 2,00	\$ 4,00
6.1/9.1/10.1	Corredera	3	0,07	\$ 8,40	\$ 25,20
6.2/9.2	Guía de costilla inferior/media	2	0,2	\$ 24,00	\$ 48,00
10.2	Guía de costilla superior	1	0,2	\$ 24,00	\$ 24,00
6.3/9.3/10.3	Abrazadera	22	0,006	\$ 0,72	\$ 15,84
6.4/9.4/10.4	Tornillo cabeza hexagonal ISO 4017 M4x20mm	22	-	\$ 2,00	\$ 44,00
6.5/9.5/10.5	Arandela de presión DIN 6905 Ø3,6 (p/M4)	22	-	\$ 0,50	\$ 11,00
6.6/9.6/10.6	Tuerca hexagonal ISO 4032 M4x3,2mm	22	-	\$ 1,00	\$ 22,00
6.7/9.7/10.7	Biela 1 y 4	10	0,007	\$ 0,84	\$ 8,40
6.8/9.8/10.8	Biela 2 y 3	12	0,01	\$ 1,20	\$ 14,40
6.9/9.9/10.9	Remache DIN 7340 Ø4x28mm	22	-	\$ 1,00	\$ 22,00
6.10/9.10/10.10	Eslabón	22	0,01	\$ 1,20	\$ 26,40
6.11/9.11/10.11	Remache DIN 7340 Ø4x30mm	6	-	\$ 1,00	\$ 6,00
6.12/9.12/10.12	Remache DIN 7340 Ø4x38mm	22	-	\$ 1,00	\$ 22,00

**COSTO UNITARIO = \$ 645,32**

**DATOS:**

\$/Kg poliprop = 120 \*

\* Fuente precio: en mercado libre la plancha de PP de 8x200x300mm sale 70\$ // Y consideré densidad PP=0,9gr/cm<sup>3</sup>

Conclusión:

**COSTO VARIABLE = 645 \$/unidad**

### 9.2.2 - Costo Fijo

Los costos fijos son aquellos costos que se mantienen inalterables ante fluctuaciones en el nivel de actividad o volumen producido. En este proyecto se consideró que el costo fijo está formado por: a) el costo de la mano de obra, y b) el costo de alquiler del galpón donde se producirá y almacenará el dispositivo.

Para calcular el costo de mano de obra, se consideró 2 empleados trabajando jornadas de 8hs, cuyo sueldo es de 70\$/hs, resultando:

$$\text{COSTO MANO DE OBRA} = 2 \text{ personas} \times 8 \text{hs/día} \times 70\$/\text{hs} \times 20 \text{ días/mes} = 22.400 \text{ \$/mes}$$

Para calcular el costo de alquiler del galpón, se consideró el precio actual del alquiler de un galpón de 500 m<sup>2</sup>.

$$\text{COSTO ALQUILER} = 6.500\$/\text{mes} \quad \text{fuente: zonaprop.com.ar}$$

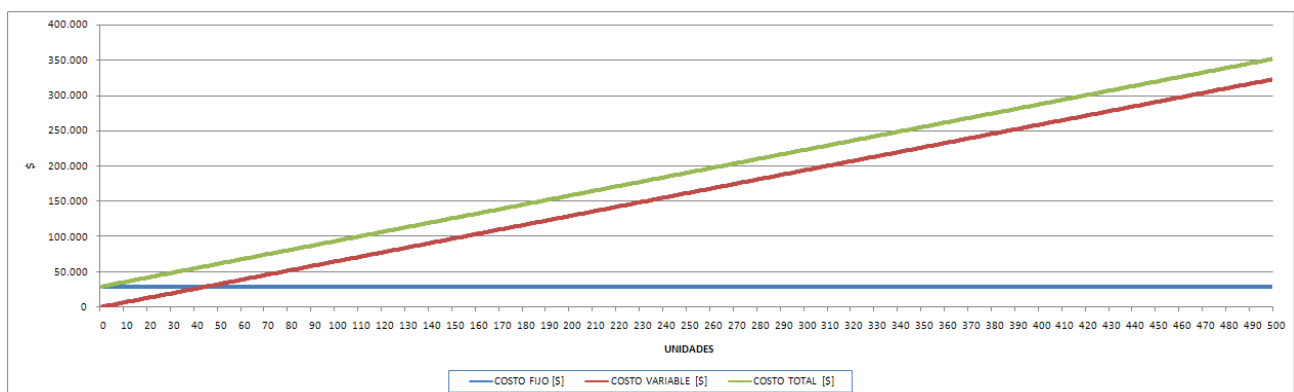
#### Conclusión:

$$\text{COSTO FIJO} = \text{COSTO MANO OBRA} + \text{COSTO ALQUILER} = \mathbf{28.900 \text{ \$/mes}}$$

### 9.2.3 - Costo Total

El costo total incluye tanto los costos fijos como los variables:

$$\text{COSTO TOTAL} = \text{C. VARIABLE} + \text{C. FIJOS}$$



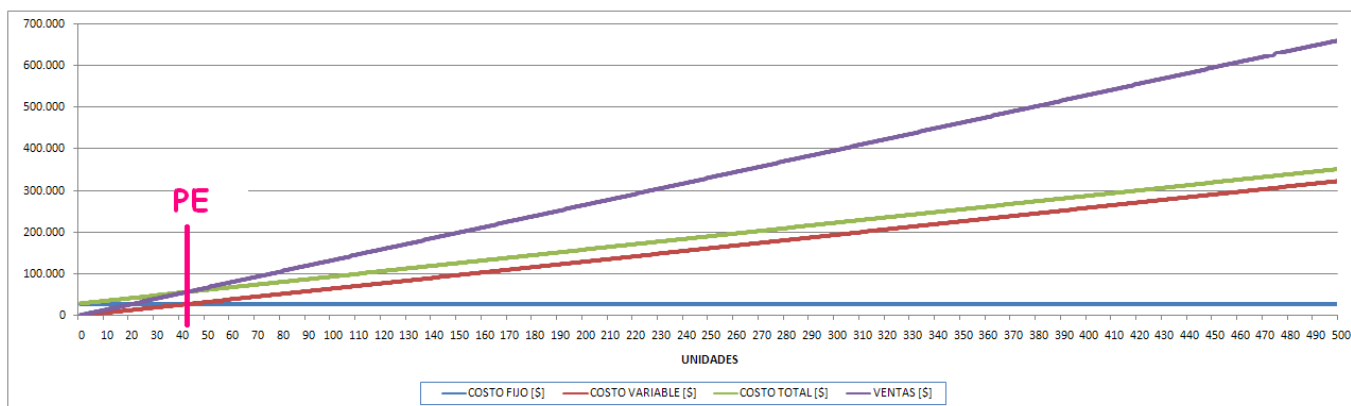
### 9.3 - CÁLCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO, UTILIDAD Y CONTRIBUCIÓN MARGINAL

#### 9.3.1 - Punto de Equilibrio y Precio de Venta

Es importante estudiar el Punto de Equilibrio ya que sirve para analizar la relación entre costos, volumen de venta y beneficios.

El punto de equilibrio es la cantidad de unidades a vender para la cual se equilibran los ingresos y los costos:  
$$\text{Ventas} = \text{Costo Total}$$

Para el cálculo del Punto de Equilibrio, propongo precio de venta = 1.320 \$/unidad.



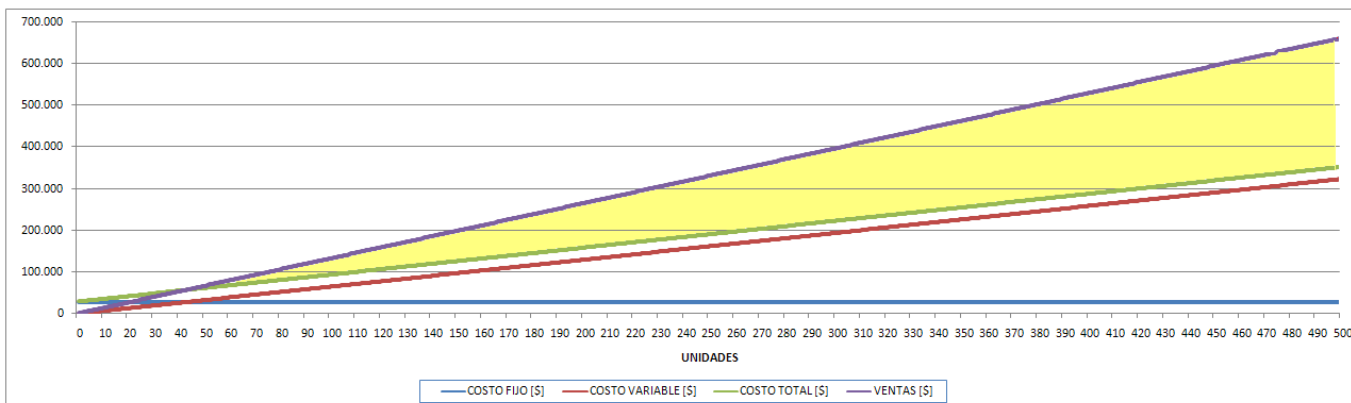
Conclusión:

**PUNTO DE EQUILIBRIO = 43 unidades**

#### 9.3.2 - Utilidad y Contribución Marginal

La Utilidad es la diferencia entre los ingresos y los costos totales. Se representa gráficamente como:

$$\text{UTILIDAD} = \text{VENTAS} - \text{COSTO TOTAL}$$



La Contribución Marginal Unitaria (CMu) representa el incremento de utilidad que se obtiene al vender una unidad más. Se calcula:

$$\text{CMu} = \text{Precio de Venta} - \text{Costo Variable Unitario} = 675 \$$$

## 9.4 - CÁLCULO DE LA INVERSIÓN INICIAL

### CÁLCULO INVERSIÓN INICIAL I&D:

PRECIO UNITARIO [\\$]	CANT. NECESARIA *	PRECIO TOTAL [\\$]
150	1200	\$ 180.000,00
<b>COSTO UNITARIO =</b>		<b>\$ 180.000,00</b>

#### DATOS:

\$/hh ingeniería= 150 \$/h

\* Se consideró: dedicación exclusiva de dos personas durante 3 meses  
= 2 personas x 200hs/mes x 3 meses

## 9.5 - CÁLCULO DEL FLUJO DE CAJA DE LA INVERSIÓN

Considerando los siguientes datos:

#### DATOS:

<b>Costo Variable [\$/unidad] =</b>	\$ 645	*Calculado en 9.2.1
<b>Costo Fijo [\$/mes] =</b>	\$ 28.900	*Calculado en 9.2.2
<b>Precio de venta unitario =</b>	\$ 1.320	*Propuesto en 9.3.1
<b>Expectativa de venta inicial =</b>	15	unidades/mes
<b>Expectativa de incremento venta =</b>	8	%incremento/mes
<b>Inversión inicial =</b>	\$ 180.000,00	*Calculado en 9.4

El flujo de caja utilizado para calcular el retorno es:

**CÁLCULO FLUJO DE CAJA:**

AÑO	MES	EXPECTATIVA VENTA	EGRESOS [\$/mes]	INGRESOS [\$/mes]	UTILIDAD NETA [\$/mes]	UTILIDAD NETA [\$/año]
1	1	Período de I&D	-\$ 60.000,00	\$ 0,00	-\$ 60.000,00	-\$ 313.723,42
	2		-\$ 60.000,00	\$ 0,00	-\$ 60.000,00	
	3		-\$ 60.000,00	\$ 0,00	-\$ 60.000,00	
	4	15	-\$ 38.579,80	\$ 19.800,00	-\$ 18.779,80	
	5	16	-\$ 39.354,18	\$ 21.384,00	-\$ 17.970,18	
	6	17	-\$ 40.190,52	\$ 23.094,72	-\$ 17.095,80	
	7	19	-\$ 41.093,76	\$ 24.942,30	-\$ 16.151,46	
	8	20	-\$ 42.069,26	\$ 26.937,68	-\$ 15.131,58	
	9	22	-\$ 43.122,80	\$ 29.092,70	-\$ 14.030,11	
	10	24	-\$ 44.260,63	\$ 31.420,11	-\$ 12.840,51	
	11	26	-\$ 45.489,48	\$ 33.933,72	-\$ 11.555,76	
	2	12	28	-\$ 46.816,63	\$ 36.648,42	
13		30	-\$ 48.249,96	\$ 39.580,29	-\$ 8.669,67	
14		32	-\$ 49.797,96	\$ 42.746,71	-\$ 7.051,25	
15		35	-\$ 51.469,80	\$ 46.166,45	-\$ 5.303,35	
16		38	-\$ 53.275,38	\$ 49.859,77	-\$ 3.415,61	
17		41	-\$ 55.225,41	\$ 53.848,55	-\$ 1.376,86	
18		44	-\$ 57.331,45	\$ 58.156,43	\$ 824,99	
19		48	-\$ 59.605,96	\$ 62.808,95	\$ 3.202,99	
20		51	-\$ 62.062,44	\$ 67.833,66	\$ 5.771,22	
21		56	-\$ 64.715,43	\$ 73.260,36	\$ 8.544,92	
22		60	-\$ 67.580,67	\$ 79.121,19	\$ 11.540,52	
23		65	-\$ 70.675,12	\$ 85.450,88	\$ 14.775,76	
3	24	70	-\$ 74.017,13	\$ 92.286,95	\$ 18.269,82	\$ 619.959,42
	25	76	-\$ 77.626,50	\$ 99.669,91	\$ 22.043,40	
	26	82	-\$ 81.524,62	\$ 107.643,50	\$ 26.118,88	
	27	88	-\$ 85.734,59	\$ 116.254,98	\$ 30.520,39	
	28	95	-\$ 90.281,36	\$ 125.555,38	\$ 35.274,02	
	29	103	-\$ 95.191,87	\$ 135.599,81	\$ 40.407,94	
	30	111	-\$ 100.495,22	\$ 146.447,79	\$ 45.952,57	
	31	120	-\$ 106.222,84	\$ 158.163,62	\$ 51.940,78	
	32	129	-\$ 112.408,66	\$ 170.816,71	\$ 58.408,04	
	33	140	-\$ 119.089,36	\$ 184.482,04	\$ 65.392,69	
	34	151	-\$ 126.304,51	\$ 199.240,61	\$ 72.936,10	
	35	163	-\$ 134.096,87	\$ 215.179,85	\$ 81.082,99	
	36	176	-\$ 142.512,62	\$ 232.394,24	\$ 89.881,63	

TOTAL VENTAS [#] = 2189

## 9.6 - EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO

Al analizar el retorno de la inversión en un período de 3 años, se obtienen los siguientes indicadores de rentabilidad:

	TIR	VAN	ROI	PAYBACK
Plazo = 3 años	47%	\$ 171.816,58	50%	18 meses

**VAN** (Valor Presente Neto, también abreviado VPN): [4; 5]

Es la diferencia entre el valor presente de los ingresos y el valor presente de los egresos. Representa el aporte acumulado neto que generará el proyecto durante un período determinado de tiempo (horizonte de evaluación). Este aporte se expresa en unidades monetarias del momento cero.

$$VPI - VPE = 0$$

$VPI$  = valor presente de los ingresos  
 $VPE$  = valor presente de los egresos

La diferencia se suele llamar **Valor Presente Neto**:

$$VPN = VPI - VPE = 0$$

Aplicando la fórmula  $P = F / (1 + t_0)^n$  que nos permite pasar a valor presente (P) los valores futuros (F) estipulados en el flujo de caja, obtenemos resultados diversos para distintas tasas de interés. Existirán tasas de interés para las cuales el VPN > 0, y otras que producirán efectos contrarios. Por lo tanto, dada una cierta tasa de interés  $t_0$ , se puede establecer criterios de decisión tomando como referencia el VPN:

$$VPN > 0, \text{ recomendable}$$
$$VPN = 0, \text{ indiferente}$$
$$VPN < 0, \text{ no recomendable}$$

El cálculo del VPN suele ser muy sencillo pues se trata de aplicar una fórmula aritmética, la parte que resulta menos fácil desde luego es la selección de la tasa a utilizar, que no es otra que la tasa de oportunidad. **En este proyecto se realizaron los cálculos suponiendo una tasa de oportunidad  $t_0 = 14\%$ , y se obtuvo un VAN > 0, por lo tanto el proyecto resulta recomendable.**

### TIR (Tasa Interna de Retorno): [4]

Es la tasa de interés que equipara el valor presente de los ingresos con el valor presente de los egresos, en otras palabras, es la tasa de interés que permite obtener un VPN=0.

¿Qué significa que el proyecto tenga una TIR del 47%? ¿Cómo esta información nos ayudará a tomar una buena decisión? Si puedo conseguir recursos a un costo del 45% el proyecto resulta llamativo porque significa que el retorno del proyecto es suficiente para compensar el costo de oportunidad del dinero y además produce un rendimiento adicional. En cambio, si solamente puedo acceder al crédito cuyo costo es del 50%, el proyecto no se presenta atractivo ya que el proyecto no alcanza a compensar el costo oportunidad. Entonces puedo concluir que si mi “costo de oportunidad” es inferior al 47% la propuesta es recomendable, en cambio si mi costo de oportunidad es superior al 47% el proyecto no es recomendable.

En definitiva, un criterio adecuado de decisión es establecer comparación entre la TIR del proyecto y el costo de oportunidad del inversionista, entonces:

$TIR > t_o, \text{ recomendable}$
$TIR = t_o, \text{ indiferente}$
$TIR < t_o, \text{ no recomendable}$
$t_o = \text{tasa de oportunidad}$

En el caso en estudio, **el proyecto resulta recomendable, ya que  $TIR > t_o = 14\%$**

### ROI (Retorno sobre la Inversión): [6]

Es un indicador financiero que mide la rentabilidad de una inversión, es decir, la relación que existe entre la utilidad neta o la ganancia obtenida y la inversión. Se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$ROI = (\text{Utilidad neta}/\text{Inversión}) \times 100$$

Si el ROI es positivo, la inversión es recomendable, mientras que si el ROI da negativo, la inversión no es recomendable. Mientras más elevado sea el ROI, más atractiva resultará la inversión. **En este proyecto se obtuvo un  $ROI = 50\% > 0$ , por lo tanto el proyecto resulta recomendable.**

Tener en consideración que el ROI no toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo, por lo que al momento de evaluar un proyecto, siempre es recomendable utilizarlo junto a otros indicadores financieros como ser TIR y VAN.

### PAYBACK (Plazo de Recuperación): [4]

Es la cantidad de meses en que los flujos positivos o generaciones de fondo recuperan los flujos negativos o desembolsos del proyecto. En otras palabras, representa el tiempo que se tardará en recuperar la inversión inicial mediante los flujos de caja. Cuanto menor sea este indicador, menor es el tiempo de riesgo de la inversión.

**En este proyecto se obtuvo un PAYBACK = 18 meses.**

## 9.7 - REFERENCIAS

- [1] INDEC - Cuadro P9. Total del país. Población en viviendas particulares, con dificultad o limitación permanente y prevalencia de la dificultad o limitación permanente, según sexo y grupo de edad. Año 2010 ([www.censo2010.indec.gov.ar/cuadrosDefinitivos/Total\\_pais/P9-Total\\_pais.xls](http://www.censo2010.indec.gov.ar/cuadrosDefinitivos/Total_pais/P9-Total_pais.xls))
- [2] INDEC - Cuadro P10. Total del país. Población en viviendas particulares con dificultad o limitación permanente por tipo de dificultad o limitación permanente, según sexo y grupo de edad. Año 2010 ([www.censo2010.indec.gov.ar/cuadrosDefinitivos/Total\\_pais/P10-Total\\_pais.xls](http://www.censo2010.indec.gov.ar/cuadrosDefinitivos/Total_pais/P10-Total_pais.xls))
- [3] INDEC – Densidad de población Año 2010, República Argentina por departamentos. ([www.sig.indec.gov.ar/censo2010/](http://www.sig.indec.gov.ar/censo2010/))
- [4] Miranda, Juan Jose – *Gestión de Proyectos: Identificación, Formulación y Evaluación* – 4ª edición.
- [5] Universidad de San Martín de Porres – *Manual para Formulación y Evaluación de Proyectos Industriales* – Año: 2008.
- [6] Arturo Elias – ([www.crecenegocios.com/retorno-sobre-la-inversion-roi/](http://www.crecenegocios.com/retorno-sobre-la-inversion-roi/))

## 10 - ANEXOS

## 10.1 - ANEXO A: QFD

**10.2 - ANEXO B: plano EIM-01-05-M-001**

**10.3 - ANEXO C: plano EIM-01-06-M-001**

**10.4 - ANEXO D: plano EIM-01-08-M-001**