



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Diseño y análisis de una plataforma elevadora de  
brazo.

MEMORIA

Autor/es

Iván Lasheras Aranda

Grado de Ingeniería mecánica

Director/es

Dr. Hugo Malón Litago

Área Ingeniería mecánica

Escuela de ingeniería y arquitectura / Universidad de Zaragoza

2016



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER

D./D<sup>a</sup>. IVAN LASHERAS ARANDA

con nº de DNI 25191960Z en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)  
INGENIERÍA MECÁNICA, (Título del Trabajo)

DISEÑO Y ANÁLISIS DE UNA PLATAFORMA ELEVADORA DE BRAZO

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 22 de Septiembre de 2016

Fdo: \_\_\_\_\_

## Índice

1.	INTRODUCCIÓN .....	3
1.1.	TIPOS DE PLATAFORMAS ELEVADORAS .....	3
1.2.	PLATAFORMA A ANALIZAR.....	5
2.	RESUMEN Y OBJETIVOS.....	7
2.1.	METODOLOGÍA.....	7
3.	ECUACIONES DEL SISTEMA.....	8
4.	DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA .....	11
4.1.	COMPROBACIÓN DEL MÉTODO DE CÁLCULO.....	12
4.2.	CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA MEDIANTE ITERACIÓN .....	13
5.	ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA ESTRUCTURA EN SOLIDWORKS.....	15
5.1.	ANÁLISIS DE LA CESTA.....	16
5.2.	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA.....	18
5.3.	ANÁLISIS DE LOS PASADORES .....	24
6.	CONCLUSIONES .....	26
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	26
	ANEXO 1 .....	28
	ANEXO 1.1. ECUACIONES DEL SISTEMA .....	28
	ANEXO 1.2. BARRAS Y NUDOS.....	28
	ANEXO 1.3. ECUACIONES DE SÓLIDO LIBRE .....	29
	ANEXO 2 .....	35
	ANEXO 2.1. NOMENCALTURA Y VALORES DE LA ESTRUCTURA.....	35
	ANEXO 2.2. DIAGRAMAS DE SOLIDO LIBRE.....	36
	ANEXO 2.3. CÁLCULOS TEÓRICOS. ....	38
	ANEXO 2.4. CÁLCULO ANALÍTICO.....	41
	ANEXO 2.4.1. ECUACIONES IMPLEMENTADAS.....	41
	ANEXO 3 .....	42
	ANEXO 3.1 VALORES DE LOS PARÁMETROS PRIMERA ITERACIÓN .....	42
	ANEXO 3.1.1. REACCIONES EN LOS NUDOS SEGÚN LA POSICION .....	42
	ANEXO 3.1.2. CORTANTES MÁXIMOS .....	60
	ANEXO 3.1.3. DIAGRAMAS DE ESFUERZOS .....	62
	ANEXO 3.1.4. DIMENSIONADO DE LAS BARRAS.....	64
	ANEXO 3.2 VALORES DE LOS PARÁMETROS SEGUNDA ITERACIÓN .....	67
	ANEXO 3.2.1. REACCIONES EN LOS NUDOS SEGÚN LA POSICION .....	68
	ANEXO 3.2.2. CORTANTES MÁXIMOS .....	86

ANEXO 3.2.3. DIAGRAMAS DE ESFUERZOS .....	87
ANEXO 3.2.4. DIMENSIONADO DE LAS BARRAS.....	90
ANEXO 3.3 VALORES DE LOS PARÁMETROS TERCERA ITERACIÓN .....	93
ANEXO 3.3.1. REACCIONES EN LOS NUDOS SEGÚN LA POSICION .....	93
ANEXO 3.3.2. CORTANTES MÁXIMOS .....	111
ANEXO 3.3.3. DIAGRAMAS DE ESFUERZOS .....	112
ANEXO 3.3.4. DIMENSIONADO DE LAS BARRAS.....	114
ANEXO 3.4 VALORES DE LOS PARÁMETROS CUARTA ITERACIÓN.....	118
ANEXO 3.4.1. REACCIONES EN LOS NUDOS SEGÚN LA POSICION .....	118
ANEXO 3.4.2. CORANTES MÁXIMOS .....	136
ANEXO 3.4.3. DIAGRAMAS DE ESFUERZOS .....	138
ANEXO 3.4.4. DIMENSIONADO DE LAS BARRAS.....	140
ANEXO 4 .....	145
ANEXO 4.1. TEOREMA DE CORTANTE MÁXIMO .....	145
ANEXO 5 .....	146
ANEXO 5.1. TABLAS DE PERFILES COMERCIALES .....	146
ANEXO 6 .....	148
ANEXO 6.1. RESULTADOS DE TENSIONES MÁXIMAS Y COEF. DE SEGURIDAD.....	148
ANEXO 7 .....	169
ANEXO 7.1. REACCIONES MÁXIMAS EN LOS PASADORES.....	169

# MEMORIA

## 1. INTRODUCCIÓN

Una plataforma elevadora es un dispositivo mecánico diseñado para permitir realizar trabajos en diferentes alturas.

Según recoge el Real Decreto 2291/1985, la plataforma elevadora móvil de personal (PEMP) es una máquina móvil destinada a desplazar personas y pequeñas herramientas hasta una posición de trabajo, con una definida posición de entrada y salida de la plataforma; está constituida como mínimo por una plataforma de trabajo con órganos de servicio, una estructura extensible y un chasis.

Generalmente se utilizan para trabajos industriales a altura, y que precisen de libertad de movimiento. Disponen de una cesta donde el operario maneja la máquina gracias a un panel de control, controlando parámetros como la altura, el ángulo, la posición o la velocidad.

### Partes de una plataforma elevadora:

- Plataforma de trabajo: formada por una bandeja rodeada por una barandilla de al menos un metro de altura y con rodapiés para evitar la caída de pequeños materiales a tercero.
- Estructura extensible: estructura unida al chasis sobre la que está instalada la plataforma de trabajo, permitiendo moverla hasta la situación deseada.
- Chasis: es la base de la PEMP. Puede ser autopulsado, empujado o remolcado; puede estar situado sobre el suelo, ruedas, cadenas, orugas o bases especiales; montado sobre remolque, semi-remolque, camión o furgón; y fijado con estabilizadores, ejes exteriores, gatos u otros sistemas que aseguren su estabilidad.

### 1.1. TIPOS DE PLATAFORMAS ELEVADORAS

#### 1. Según su sistema de elevación:

- Tijera

Los elevadores de tijera están diseñados para acceder a lugares en los que se necesita un espacio de trabajo de cierto tamaño. Desde este punto de vista, un elevador de tijera generalmente cuenta con una capacidad de elevación considerable combinada con un amplio espacio de trabajo. Se mueven únicamente en vertical. Las elevadoras de tijeras que actualmente se pueden adquirir en el mercado presentan una gran diversidad. Así, desde el punto de vista de la energía que necesitan para funcionar, es posible adquirir elevadoras diésel o eléctricas. Otras plataformas de tijera han sido fabricadas pensando en minimizar los costes de mantenimiento. También las hay que permiten monitorizar el trabajo de la máquina, controlando la batería gastada y las horas de trabajo a través de una pantalla digital.

Estas elevadoras pueden adquirirse nuevas o de segunda mano. Asimismo, existen algunas empresas que ofrecen la posibilidad de alquilarlas. Esta última opción es ideal para empresas que pueden necesitar estas máquinas de forma ocasional.



Fig 1. Elevador de tijera

- De brazo

A diferencia de las elevadoras de tijera, esta nos permite una amplia superficie que cubrir ya que no solo tenemos una elevación vertical sino que también tenemos un desplazamiento horizontal.

El inconveniente que encontramos respecto a las de tijera es que el centro de gravedad se aleja de la bancada lo que puede hacer que vuelva la estructura dependiendo de la bancada que tenga.



Fig 2. Elevador de brazo

- Telescópicas

El mecanismo de estas plataformas es parecido al anterior, la única diferencia es que las barras que la componen son extensibles lo que conseguimos un mecanismo con el cual alcanzamos mayores alturas con un sistema más compacto.



Fig 3. Elevador telescópico

## 2. Según su sistema de translación:

- Sobre camión
- Autopropulsadas
- Remolcables
- Sin tracción
- Sobre oruga
- Sobre furgón
- Sobre vehículos 4X4

En el mercado se encuentran combinados los distintos sistemas de elevación y translación para satisfacer todas las necesidades. También es frecuente combinar los tipos articulados y telescopios para obtener una mayor versatilidad.

Además pueden ser incorporadas sobre un camión, añadiendo la movilidad del vehículo a la de la máquina y se denominan plataformas sobre camión. Normalmente la máquina es autónoma en cuanto a movilidad, y viene proporcionada por un motor eléctrico o motor de combustión interna diésel. El primer caso permite a la máquina trabajar en entornos cerrados donde el humo del motor de combustión podría ser un problema para el operario.

Independientemente de su tipología, se utiliza una bomba hidráulica para poder elevar grandes pesos.

### 1.2. PLATAFORMA A ANALIZAR

Para el diseño de cualquier mecanismo se pueden tener en cuenta varios puntos de vista en los que enfocar dicho diseño, ya sea el económico, la seguridad, el peso, el tamaño... Para este mecanismo, más que el tamaño o peso, los factores que importan son el económico y la seguridad y entre estos dos, aunque el tema económico es el primordial en cualquier diseño, y como se ha mencionado anteriormente, se ha antepuesto la seguridad ante este, debido a que se trata de un mecanismo en el que la gente estará subida en él y en la mayoría de los casos se encontrará a grandes alturas estando en juego la vida del operario y si se piensa detenidamente, ¿Qué preferiría el cliente, una plataforma barata o poco segura? O ¿Cara y segura? Yo sinceramente, estando mi vida en juego, prefiero pagar un poco más y estar seguro en una plataforma estable a grandes aturas.

Bien, una vez se ha tenido claro el requisito principal de nuestra estructura se ha buscado como conseguirlo. ¿Cómo se consigue una plataforma elevadora segura? Haciendo la cesta en la que el operario se sube lo más estable posible, o dicho de otra forma, que en cualquiera de las posiciones de las barras la cesta se mantenga completamente perpendicular respecto al suelo y no “vuelque” aunque el operario se asome por el borde de la cesta.



Para conseguir esto de manera mecánica, se ha recurrido a la geometría de mecanismos en las cuales jugando con las longitudes y uniones de las barras podemos conseguir el desplazamiento que deseemos a partir de un movimiento totalmente distinto. El mecanismo que estamos buscando se trata del paralelogramo articulado, el cual consiste en un mecanismo de 4 barras de la misma longitud dos a dos y articulado en las 4 esquinas, Respetando las longitudes siempre vamos a conseguir paralelismo entre las barras opuestas, respetando las longitudes siempre vamos a conseguir paralelismo entre las barras opuestas:

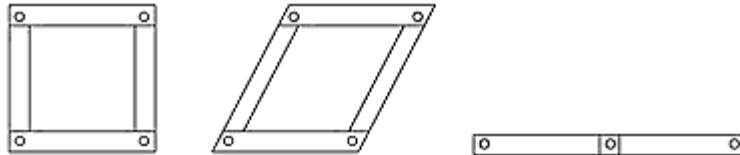


Fig 4. Paralelogramo articulado

Teniendo esta idea en la cabeza, se ha aplicado este mecanismo a nuestra estructura. Una de las barras verticales será la bancada la cual siempre será fija y la barra contraria es en conjunto de la cesta entera, al mantener la bancada vertical y la longitud entre barras la cesta siempre se mantendrá en la misma posición de la bancada, ahora bien, para alcanzar los 8 metros de altura se necesitaría una estructura hecha por barras de gran longitud lo cual haría una estructura que ocuparía mucho espacio, por este motivo se ha decidido hacerla con dos paralelogramos.

La idea es la misma pero en vez de tener la cesta directamente en el extremo del primer paralelogramo la tendremos en el del segundo, siendo así un extremo de un paralelogramo el comienzo de otro.

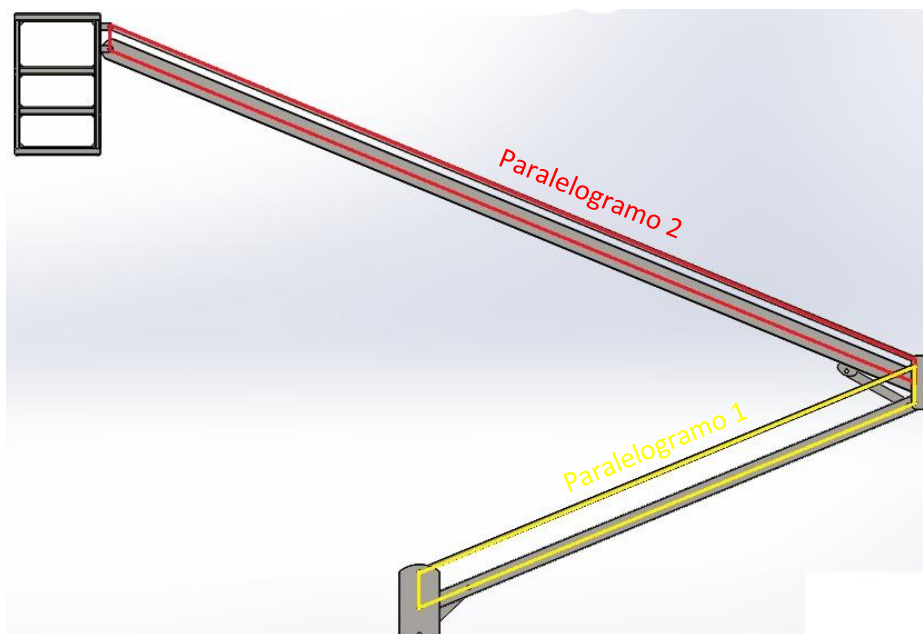


Fig 5. Diseño de estructura elegido

De esta manera, se ha conseguido que gracias a esta configuración la cesta mantenga la misma posición que la bancada, es decir, en posición vertical.

## 2. RESUMEN Y OBJETIVOS

El propósito de este TFG consiste en el diseño de un elemento mecánico y su posterior análisis, en concreto una plataforma elevadora de brazo.

Este dispositivo mecánico puede aplicarse a diversos ámbitos de la vida diaria siempre que lo que se busque sea alcanzar grandes alturas como por ejemplo, en jardinería, construcción o trabajos de mantenimiento.

Los requisitos de esta elevadora son:

- Elevadora de brazo.
- Alcanzar una altura de 8 metros.
- Soportar una carga de 250 Kg; 100 Kg la cesta y 150 Kg el operario con la herramienta de trabajo.

Para el diseño de la estructura se tendrá como principal objetivo la integridad y seguridad del operario que la use, más que el aspecto económico, prestando especial atención a la estabilidad de la cesta de dicha estructura.

Para ello se ha buscado una configuración de barras que permite que la cesta siempre se encuentre perpendicular respecto al suelo de manera que la cesta nunca se incline ni cuando el operario se asome al borde de la cesta.

### 2.1. METODOLOGÍA

Una vez elegido el diseño que cumplía los objetivos impuestos, la metodología que se ha seguido para la realización de este TFG ha consistido en primer lugar, realizar los diagramas de sólido libre con sus correspondientes ecuaciones de equilibrio de cada uno de los elementos que lo constituye, una vez hecho esto se han implementado estas ecuaciones en una herramienta de resolución de sistemas de ecuaciones (EES) y se han valorado las fuerzas y reacciones en todos los nudos en distintas posiciones de las barras que componen la estructura.

Una vez se han analizado todos los resultados se buscaron los puntos dentro de cada configuración de barras donde las solicitaciones son máximas para, a partir de ahí, calcular las tensiones y poder dimensionar.

Para el cálculo de tensiones se utilizó la herramienta de elementos finitos MEF1 con el objetivo de conocer esfuerzos axiales, cortantes y flectores para posteriormente aplicar el teorema de contante máximo y elegir un perfil para dimensionar.

Todos estos cálculos se han realizado de manera iterante, es decir, en la primera iteración se han dado unos valores “ficticios” a las masas de las barras y se ha calculado las tensiones y esfuerzos, lo que se ha obtenido unas secciones de barras en base a estos valores y por consiguiente unas nuevas masas. La iteración se da por concluida cuando las tensiones máximas en las barras no superan la admisible utilizando las secciones de la iteración anterior.

Todos los pasos anteriores han servido para realizar un “pre-dimensionado” con el cual poder empezar a analizar la estructura la herramienta CAD 3D Solidworks.

Por último, y una vez analizado el conjunto entero en diferentes posiciones, se han comprobado los resultados y se han modificado los elementos en base a los resultados para eliminar los problemas encontrados en el pre-dimensionado.

### 3. ECUACIONES DEL SISTEMA

Una vez elegida la configuración de barras se ha procedido a desarrollar las distintas ecuaciones de sólido libre de cada barra.

Un diagrama de cuerpo libre es una representación gráfica utilizada a menudo por físicos e ingenieros para analizar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo libre. El diagrama de cuerpo libre es un elemental caso particular de un diagrama de fuerzas. En español, se utiliza muy a menudo la expresión diagrama de fuerzas como equivalente a diagrama de cuerpo libre, aunque lo correcto sería hablar de diagrama de fuerzas sobre un cuerpo libre o diagrama de fuerzas de sistema aislado. Estos diagramas son una herramienta para descubrir las fuerzas desconocidas que aparecen en las ecuaciones del movimiento del cuerpo. El diagrama facilita la identificación de las fuerzas y momentos que deben tenerse en cuenta para la resolución del problema. También se emplean para el análisis de las fuerzas internas que actúan en estructuras.

Para su realización se ha elaborado un esquema de los cuerpo en cuestión y de las fuerzas que actúan sobre él representadas como vectores.

#### Fuerzas internas desarrolladas en elementos estructurales:

Para diseñar un elemento estructural o mecánico es necesario conocer la carga que actúa dentro de él para asegurarnos de que el material puede resistir esta carga. Las cargas internas pueden determinarse por el *método de secciones*, seccionando o cortando imaginariamente una sección perpendicular al eje de la viga. Las cargas internas que actúan sobre el elemento quedarán expuestas y se volverán *externas* en el diagrama de cuerpo libre de cada segmento.

Los componentes de la fuerza (N) que actúa en perpendicular a la sección transversal se denominan fuerza Normal.

Los componentes de la fuerza (V) que es tangente a la sección transversal se llama fuerza cortante.

El momento de par (M) se conoce como momento flector.

#### Fuerzas externas en la estructura:

Todas las fuerzas externas (en este caso el operario en la cesta con la herramienta) se representan mediante vectores etiquetados de forma adecuada. Las flechas indican la dirección y magnitud de las fuerzas y, en la medida de lo posible, deberían situarse en el punto en que se aplican.

Solo se deben incluir las fuerzas que actúan sobre el objeto, ya sean de rozamiento, gravitatorias, normales, de arrastre o de contacto. Cuando se trabaja con un sistema de referencia no inercial, es apropiado incluir fuerzas ficticias como la centrífuga.

Se suele trabajar con el sistema de coordenadas más conveniente, para simplificar las ecuaciones. La dirección del eje x puede hacerse coincidir con la dirección de descenso de un plano inclinado, por ejemplo, y así la fuerza de rozamiento solo tiene componente en esa

coordenada, mientras que la normal sigue el eje  $y$ . La fuerza gravitatoria, en este caso, tendrá componentes según los dos ejes, donde  $\theta$  es el ángulo que forma el plano con la superficie horizontal.

Componentes no incluidos:

Las fuerzas que el cuerpo ejerce sobre otros cuerpos. Por ejemplo, si una pelota permanece en reposo sobre una mesa, la pelota ejerce una fuerza sobre esta, pero en el diagrama de cuerpo libre de la primera solo hay que incluir la fuerza que la mesa ejerce sobre ella.

Para ello utilizamos el principio de acción-reacción donde cada barra hace una fuerza de igual valor pero de sentido contrario en la barra consecutiva.

El diagrama de cuerpo libre refleja todas las suposiciones y simplificaciones que se han hecho para analizar el problema. Los vectores deben colocarse y etiquetarse con cuidado para evitar suposiciones que condicionen el resultado.

La resolución de fuerzas de sólido libre se basa en la estática que estudia el equilibrio de fuerzas en los sistemas físicos en equilibrio estático, es decir, en un estado en el que las posiciones relativas de los subsistemas no varían con el tiempo. La primera ley de Newton implica que el sumatorio de las fuerzas en los dos ejes y el par neto respecto a un punto (también conocido como *momento de fuerza*) de cada organismo en el sistema es igual a cero. De esta limitación pueden derivarse cantidades como la carga o la presión. El sumatorio de fuerzas de igual a cero se conoce como *la primera condición de equilibrio*, y el par neto igual a cero se conoce como *la segunda condición de equilibrio*.

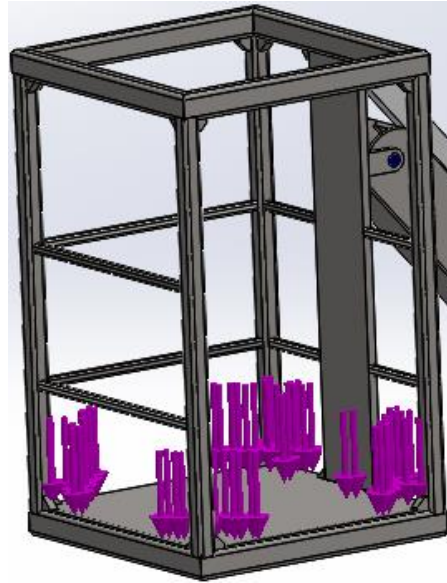
Una vez explicado y teniendo claro cómo obtener los diagramas de sólido libre, se ha nombrado cada barra y cada nudo del sistema ya que esto es totalmente necesario.

Antes de dibujar los diagramas se ha de tener claro cuáles son las condiciones de contorno y las cargas externas en nuestro sistema.



Fig 6. Condiciones de contorno y fuerzas

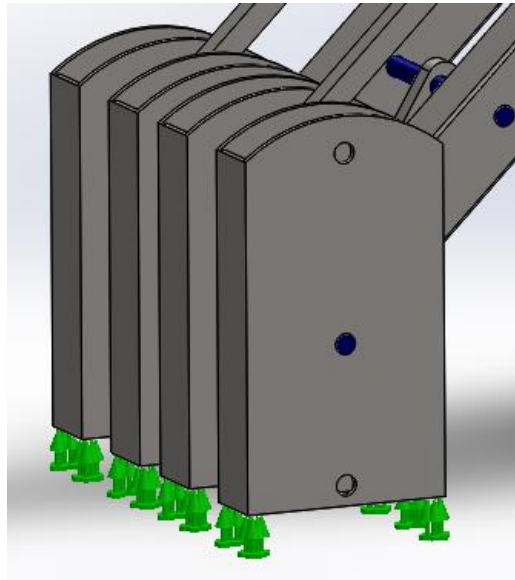
Como cargas exteriores únicamente encontraremos la gravedad (flecha roja de la imagen) y la carga en la cesta:



*Fig 7. Cargas externas del sistema*

En este caso se trata de una carga uniforme y distribuida realizada por el operario y toda su herramienta.

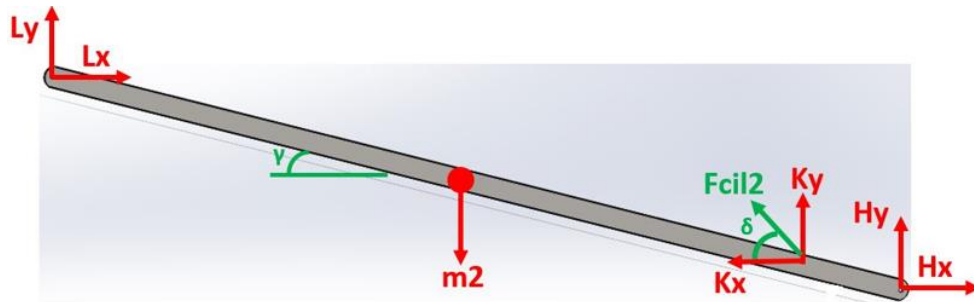
Como condiciones de contorno se entiende que es la manera de la cual nuestro sistema se mueve o se comporta respecto al exterior de este.



*Fig 8. Condiciones de contorno del sistema*

La única condición de contorno que se encuentra en este sistema está en la bancada (base), cuya condición se trata de un empotramiento que simularía la soldadura o fijación de la estructura con el suelo, sistema de transporte... el resto de las condiciones nos la da el propio mecanismo elegido.

A continuación, se ha separado cada barra de la estructura y teniendo sumo cuidado a la hora de dibujar los vectores en cada una de ellas se ha obtenido el sistema de ecuaciones de nuestra estructura.



$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow H_x - K_y + L_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow H_y + K_y - m_2 * g + L_y = 0$$

$$\Sigma M_h = 0 \rightarrow K_x * d_{cil2} * \text{sen} \gamma - K_y * d_{cil2} * \text{cos} \gamma + m_2 * g * \frac{\text{long}_{b2y3}}{2} * \text{cos} \gamma - L_x * \text{long}_{b2y3} * \text{sen} \gamma - L_y * \text{long}_{b2y3} * \text{cos} \gamma = 0$$

$$K_y = F_{cil2} * \text{sen} \delta$$

Fig 9. Ejemplo de DSL

Esta imagen es un ejemplo de sistema de sólido libre de una de las barras de nuestra estructura, como se puede observar, una vez se ha nombrado cada nudo, se ha dibujado en todos ellos las direcciones de todos los vectores en base al principio de acción-reacción y para hallar estos valores se han desarrollado las ecuaciones de un sistema estático cumpliendo la primera ley de Newton.

Para ver el DSL de todos los elementos de la estructura consultar en [ANEXO 1](#).

#### 4. DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA

En este apartado del trabajo, una vez teniendo las ecuaciones, se ha comenzado a calcular las secciones necesarias en cada una de las barras implementando, en primer lugar, dichas ecuaciones en la herramienta de resolución de sistemas EES.

Después de haber implementado las ecuaciones en EES, se ha seguido un proceso iterativo donde en la primera iteración se han dado valores intuitivos a las masas de los componentes para hacer el primer dimensionado. Una vez terminado este primer dimensionado se vuelve a calcular el conjunto de nuevo (con las nuevas masas) y comprobar si no plastifica ninguna de las barras.

Este proceso se repetirá hasta dar con las barras que soporten el conjunto entero.

No se puede asegurar que esta herramienta de cálculo nos devuelva unos resultados correctos por lo que, para comprobar que estos resultados son fiables, se ha realizado una comprobación de este método de cálculo.

#### 4.1. COMPROBACIÓN DEL MÉTODO DE CÁLCULO

Para asegurar que el método de cálculo mediante la herramienta EES es correcto se ha hecho:

- Cálculo teórico: cálculo y obtención de resultados hechos a mano del sistema de ecuaciones.
- Cálculo analítico: obtención de resultados del sistema de ecuaciones mediante la herramienta de cálculo.

Posteriormente se han comparado dicho resultados para saber el error cometido.

Con el fin de facilitar el desarrollo de los cálculos y su posterior comparación se ha simplificado la estructura eliminando barras, esto es posible porque la estructura simplificada es equivalente a la real y el único fin en este apartado es comprobar el método de cálculo para para asegurarnos que nos devuelve resultados correctos.

El modelo simplificado consta de 3 barras y los dos cilindros, sin cesta, con la carga externa directamente aplicada al extremo de la barra superior. Para simplificar aún más los cálculos se ha elegido una sencilla configuración de barras donde al descomponer las fuerzas en base a los ángulos se eliminan componentes de fuerzas.

En el ANEXO 2 se explica con detalle cómo es dicha estructura y su configuración, además de, los valores de los parámetros, la nomenclatura de los componentes y los resultados de los dos cálculos.

	Ax	Ay	Az	Bx	By	Cx	Cy	Dx
Resultados teóricos (N)	0	5000	8,77E+06	43828,5	74820,2	43828,5	79820,2	43828,5
Resultados analíticos (N)	0,00001492	5000	8,39E+06	-41986	-71674	-41986	-76674	-41986
Error cometido (%)	0%	0%	4,3%	4,2%	4,2%	4,2%	3,9%	4,2%

	Dy	Ex	Ey	Fx	Fy	Gx	Gy
Resultados teóricos (N)	-74820,2	555257	42250	-555257	38250	555257	42250
Resultados analíticos (N)	-71674	555257	42250	-555257	38250	555257	42250
Error cometido (%)	4,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabla 1. Error cometido en comparación de resultados

Estas dos tablas recogen los valores de cada uno de los vectores en cada nudo de los dos métodos de cálculo y el error cometido.

Para poder decir que el método es fiable el error cometido tiene que ser menor o igual al 10% y cómo podemos comprobar el máximo error cometido ha sido del 4,3%, lo que se puede considerar que este método de cálculo nos proporciona valores correctos comparados con los analíticos.

Una vez comprobado esto, ya podemos aplicar es cálculo a nuestra estructura real.

## 4.2. CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA MEDIANTE ITERACIÓN

Una vez se ha comprobado el método de cálculo, se ha procedido a la obtención de las secciones necesarias en cada una de las barras, para esto, se ha utilizado un proceso iterativo en el cual, para poder empezar, se ha aplicado unas masas intuitivas a las barras. En cada iteración el proceso que se ha seguido ha sido el mismo:

1. Dar valores a los parámetros de cada barra.
2. Calcular las reacciones en los nudos en varias configuraciones de las barras.
3. Buscar en cada barra la posición donde se ha encontrado la mayor reacción y su valor
4. Calcular tensiones cortantes máximas
5. Buscar un perfil que cumpla la ley de cortante máximo
6. Volver a repetir los pasos anteriores con el nuevo perfil obtenido

En cada iteración obtendremos una sección requerida y, por lo tanto, nuevas masas. La iteración acaba cuando se comprueba que dichas secciones soportan las cargas producidas por las masas de la iteración anterior.

El dimensionado de las barras ha sido basado en el teorema de cortante máximo (ANEXO 4) donde se ha buscado un perfil (ANEXO 5) con un módulo resistente a flexión que cumpla los requisitos de diseño teniendo en cuenta los esfuerzos calculados.

Para esta estructura se ha elegido un coeficiente de seguridad de 3 y, aunque el acero más utilizado en estos dispositivos es el acero estructural E355, para este trabajo se ha seleccionado, para todas las barras, el acero estructural S460N que presenta características similares que el anterior pero con el límite elástico ligeramente superior:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	210000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	79000	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	7800	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	530	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	380	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	1.1e-005	/K
Conductividad térmica	14	W/(m·K)
Calor específico	440	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Tabla 2. Tabla de propiedades mecánicas del acero S460N

### NOTA:

- Las características de nuestro material aplicadas al teorema de cortante máximo son:

Acero	S460N
Límite elástico [MPa]	380
Densidad [Kg/m <sup>3</sup> ]	7800
Cs	3
$\tau_{\text{máx,adm}} = \tau_{\text{máx}}$	63,33333333
$\sigma_{\text{adm}}$	126,6666667

Tabla 3. Características frente a cortante máximo



- Se tiene que cumplir que  $\sigma_{adm} \geq \frac{N}{A} + \frac{M_f}{w_f}$ , si esto no se cumple elegiremos el perfil siguiente hasta dar con el adecuado

El proceso de la iteración queda reflejado en el ANEXO 3, en este queda reflejados todo, tanto tablas con los valores en cada posición de la barra como graficas o los diagramas de esfuerzos.

Una vez acabada la iteración se ha obtenido que las secciones necesarias para cada una de las barras son:

- Barra 1 → 120x100x8 mm
- Barra 2 → 160x140x12mm
- Barra 3 → 36x36 mm
- Barra 4 → 36x36 mm
- Barra 5 → Espesor de las paredes de 12 mm
- Orejeta → 300x100x10 mm

No obstante, esta iteración no sirve como estructura definitiva, más bien, esto puede considerarse como un pre-dimensionado a lo que sería nuestra estructura final. Esto es considerado de esta forma por varios motivos, aunque los principales son:

- En el cálculo que hemos realizado hasta ahora lo que se ha calculado son valores de un sistema 2D, es decir, solo se obtienen valores en el plano del papel y esto no es del todo cierto, dependiendo de la forma que tiene el elemento y de la carga a aplicar se obtienen esfuerzos y tensiones en los 3 ejes del sistema. Lo que consideramos una distribución uniforme de tensiones en realidad no es del todo cierto.
- Por motivos constructivos las barras no están tal y como se dibujan en el DSL debido a lo que se dibuja son elementos línea y en realidad las barras tienen su espesor y sección, por ejemplo los cilindros según el DSL están unidas a las barras en la línea media de la barra y esto no es así, los cilindros han de ir a la parte superior o inferior de la barra lo que hace que varíen los ángulos de ataque.

Por lo tanto, todo este proceso ha de ser mejorado mediante un análisis estático en una herramienta de elementos finitos, en este caso SolidWorks, en el cual obtendremos la distribución de tensiones reales en la estructura y los posibles fallos de esta después de las modificaciones obligatorias anteriormente explicadas.

Como se ha hecho en este apartado se ha hecho análisis de varias posiciones de las barras para comprobar el comportamiento de estas en cada configuración.

Otros de los requisitos que se pedían, y del cual se ha tenido en cuenta, es el requisito de alcanzar los 8 metros de altura cuando la cesta se encuentra en la posición más elevada y en la siguiente imagen queda constancia de que se cumple esto:



Fig 10. Altura máxima alcanzada

## 5. ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA ESTRUCTURA EN SOLIDWORKS

Una vez obtenidas las dimensiones de las barras de manera teórica, y así, teniendo unos valores con los que poder comenzar con el cálculo analítico, se ha realizado el cálculo analítico mediante la herramienta de elementos finitos de SolidWorks.

Los resultados van a variar respecto a los teóricos ya que por motivos constructivos de la estructura se ha variado alguna cota en los cilindros y, por lo tanto, los ángulos de ataque de estos que a su vez hacen que cambien las tensiones y esfuerzos. El cálculo analítico ha servido para saber si la estructura soporta las cargas a pesar de estas variaciones y, de no ser así, cambiar secciones o los parámetros necesarios para conseguir una plataforma elevadora segura.

Se ha realizado análisis de varias configuraciones de las barras para verificar que la estructura es segura en cada una de las posiciones.

## 5.1. ANÁLISIS DE LA CESTA

Para la cesta no se ha realizado un pre-dimensionado como en el resto de los elementos que compone la plataforma, la manera con la que se ha trabajado con esta ha sido realizar un diseño básico y mediante el análisis de elementos finitos hacer modificaciones en el diseño actuando respecto a los fallos que han surgido.

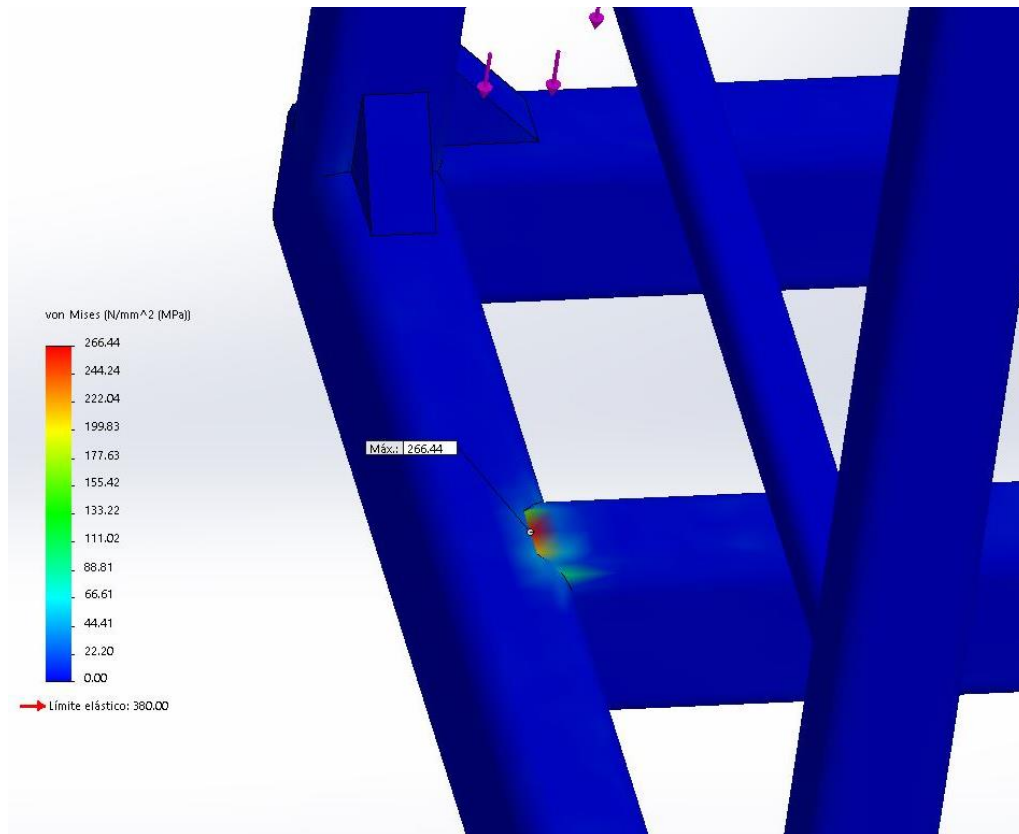


Fig 11. Tensiones en la cesta

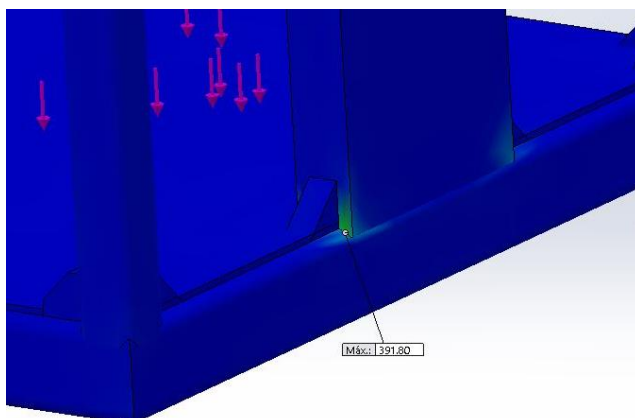


Fig 12. Tensiones en la cesta

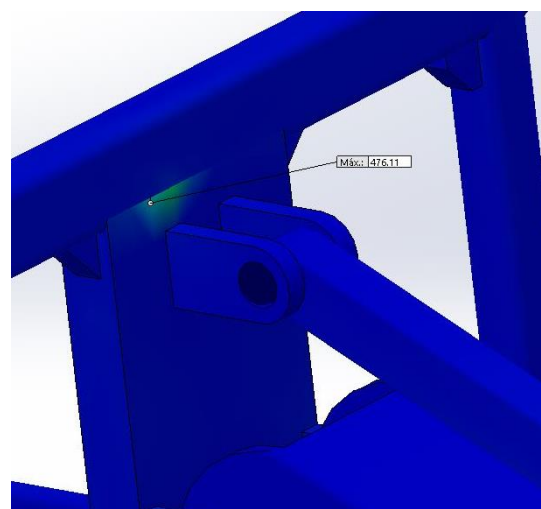


Fig 13. Tensiones en la cesta

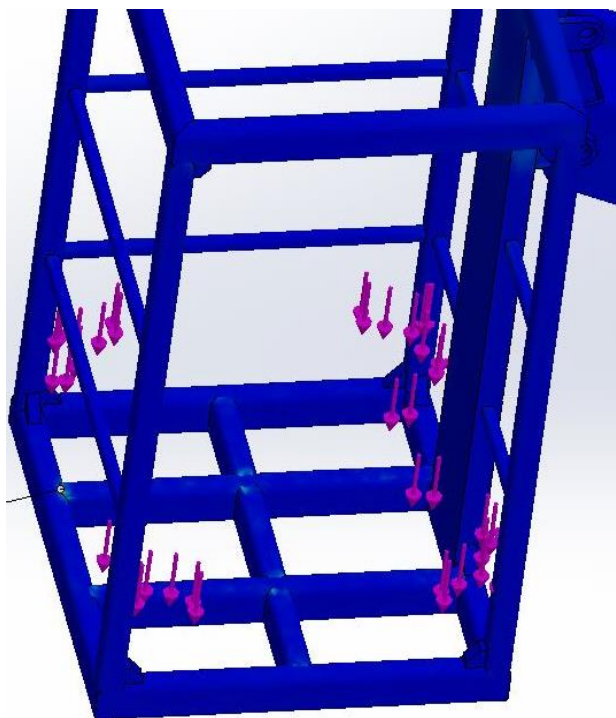


Fig 14. Tensiones en la cesta

Como se observa en las imágenes, las principales zonas donde encontramos tensiones superiores a las admisibles (de color verde y rojo) son las zonas de unión entre las barras.

Para eliminar estas tensiones se han añadido cartelas en las uniones, se ha modificado las secciones de las barras con el fin de evitar tener pequeños espesores y se han modificado las uniones entre barras, de manera que, en vez de tener en los extremos de las barras la forma de la superficie a la que irían soldadas serán cortadas de manera perpendicular eliminando así esos pequeños espesores y esa concentración de tensiones.

Después de las modificaciones hechas el diseño final de la cesta ha sido:

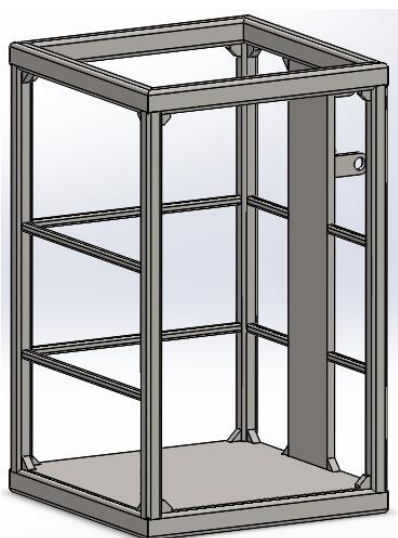


Fig 15. Diseño de cesta definitivo

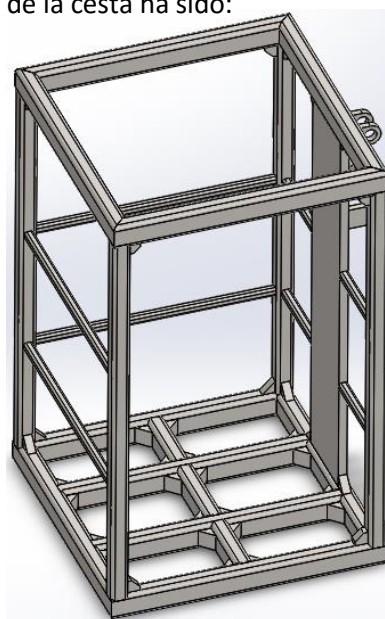


Fig 16. Diseño de cesta definitivo

Como se ha explicado al principio del trabajo, el principal punto de vista que se quiere cumplir es el de la seguridad por lo tanto en cuanto a la cesta se refiere las medidas que se pueden aplicar son:

- Chapa lagrimada en la placa del suelo para evitar que el operario resbale y pueda precipitarse al vacío.
- Una chapa plegada alrededor de la cesta en la parte inferior que actúe como rodapié con el fin de evitar que caiga herramienta o cualquier otro elemento desde las alturas.
- Por el lado donde entra el operario (donde no tiene barras) poner unas cadenas de lado a lado con el fin de que el operario no pueda caer por ese hueco sin aumentar excesivamente el peso de esta.

## 5.2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

En este apartado del trabajo se analizará el conjunto entero de la estructura con cesta, para empezar se ha modelado las barras que constituyen la estructura mediante protrusiones de las secciones que se han calculado en el apartado anterior.

A continuación, se ha ensamblado el conjunto para llevar a cabo el estudio.

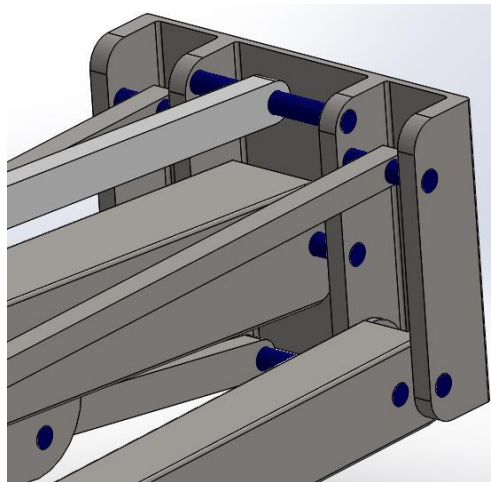


Fig 17. Conexión con pasador

Como se observa en la imagen no se han utilizado pasadores reales en el estudio ya que complicaban el análisis, a cambio, se ha utilizado la opción de conectores con pasador de SolidWorks que realizan el mismo trabajo pero no se obtiene las tensiones en estos. Para saber el comportamiento de los pasadores se buscará la reacción máxima en los nudos y se simulará por separado en el apartado siguiente.

Una vez realizado el primer análisis de la estructura (en la posición más alta) se han encontrado las primeras zonas de fallo.

Al ser analizada la estructura se han encontrado pequeñas zonas de esta donde las tensiones sobrepasan las admisibles y, por lo tanto, superamos el coeficiente de seguridad (zonas rojas).

Una de las zonas donde encontramos un coeficiente de seguridad menor al deseado, como se observa en la siguiente imagen, se encuentra en la orejeta que une el cilindro 2 con la barra 2.

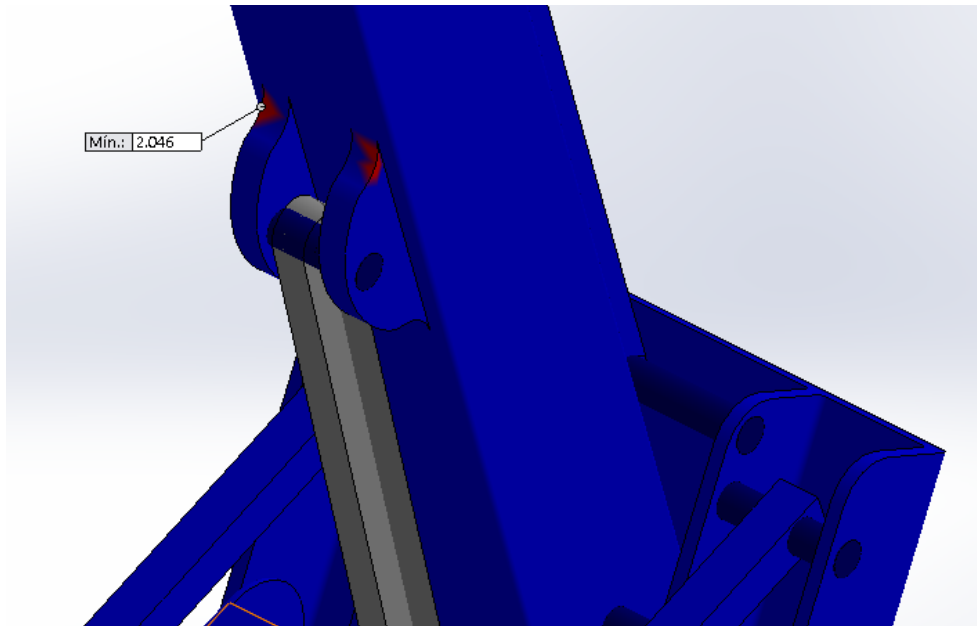


Fig 18. Coeficiente de seguridad mínimo en la orejeta

Esto es debido a que la orejeta se ha diseñado demasiado corta por lo tanto, para eliminar estas tensiones, se ha alargado para repartir las tensiones y se ha aumentado el espesor de esta.

Modificación que se ha realizado ha consistido en aumentar la longitud de esta orejeta a 500 mm y el espesor a 25 mm.

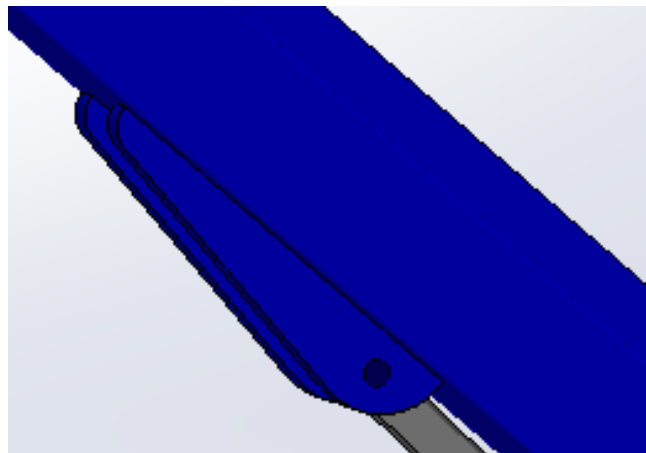


Fig 19. Orejeta modificada

Como se observa en la imagen ya no se han encontrado problemas en esa zona después de las modificaciones, pero hay que mencionar que, no se han encontrado problemas en esta posición en concreto pero si habrá que comprobarlo en otras posiciones.

Tras haber estudiado estas modificaciones en el resto de las posiciones se ha observado lo que perfectamente podría ocurrir, que en otra posición siguiese sin cumplir el coeficiente de seguridad mínimo.

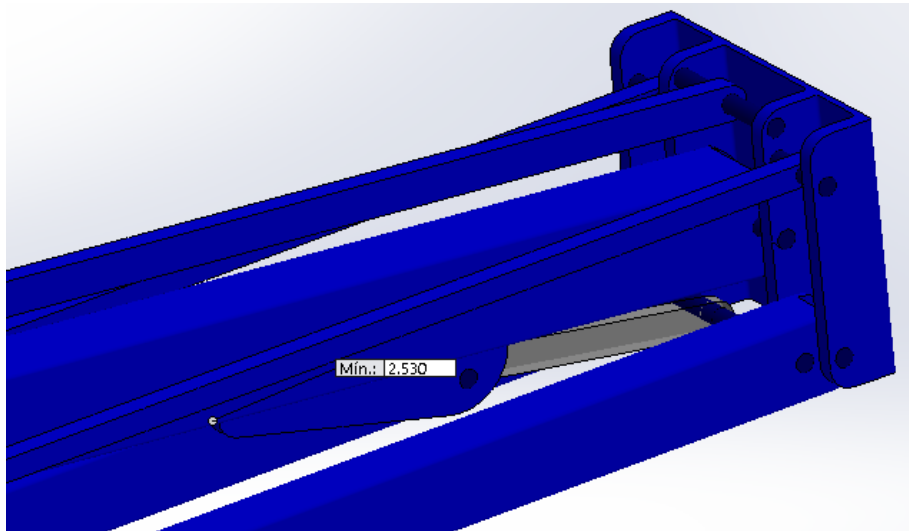


Fig 20. Coeficiente de seguridad mínimo en la posición más baja

Como se observa en la imagen volvemos a encontrar problemas en la orejeta, esta vez la posición más baja de la cesta, por lo que se ha aumentado la longitud de esta a 1000mm.

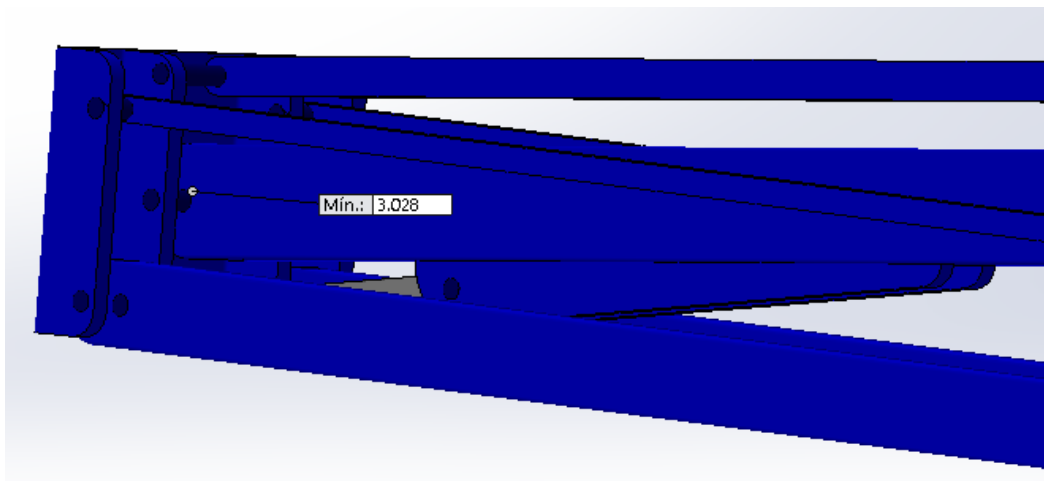


Fig 21. Coeficiente de seguridad mínimo después de modificaciones

Aumentando la longitud de la orejeta se observa en la imagen que ese problema ha quedado solucionado.

Al hacer este cambio no hace falta volver a analizar la posición anterior ya que si hemos aumentado la longitud de la orejeta ahora soportará mejor las tensiones ya que en la anterior con que fuese la mitad de larga ya cumplía.

Otro punto en el que vuelve a pasar lo mismo es en la barra 5, donde los pasadores provocan demasiada tensión, esto es debido al cambio de cilindro explicado anteriormente.

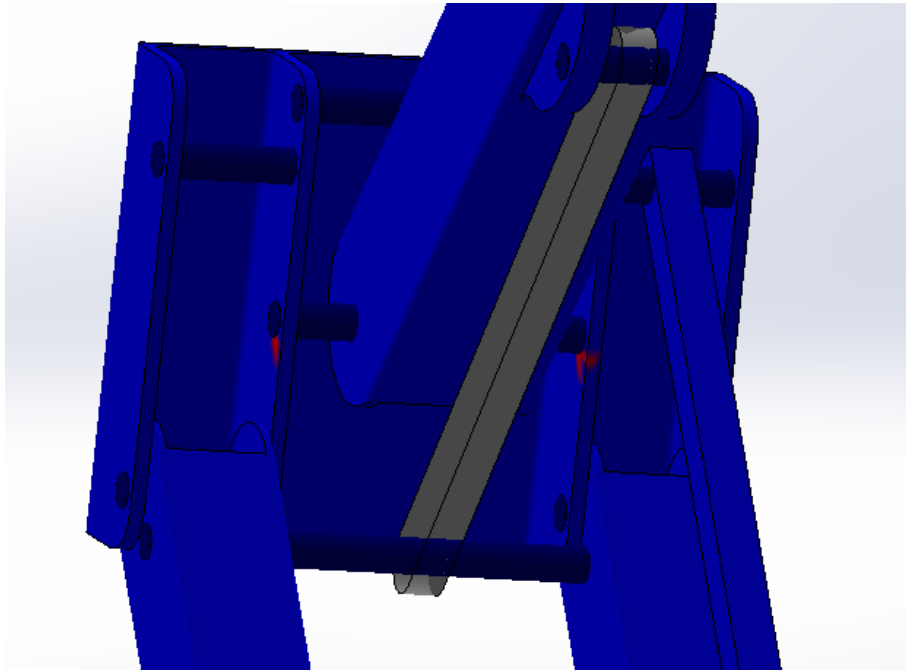


Fig 22. Coeficiente de seguridad mínimo en barra 5

Para este problema existe fácil solución, se ha aumentado el espesor de esa pared para eliminar esas tensiones tan altas.

Tras haber realizado los cambios mencionados anteriormente y como vemos en las imágenes siguientes, se ha conseguido que el factor de seguridad mínimo sea mayor que el deseado.

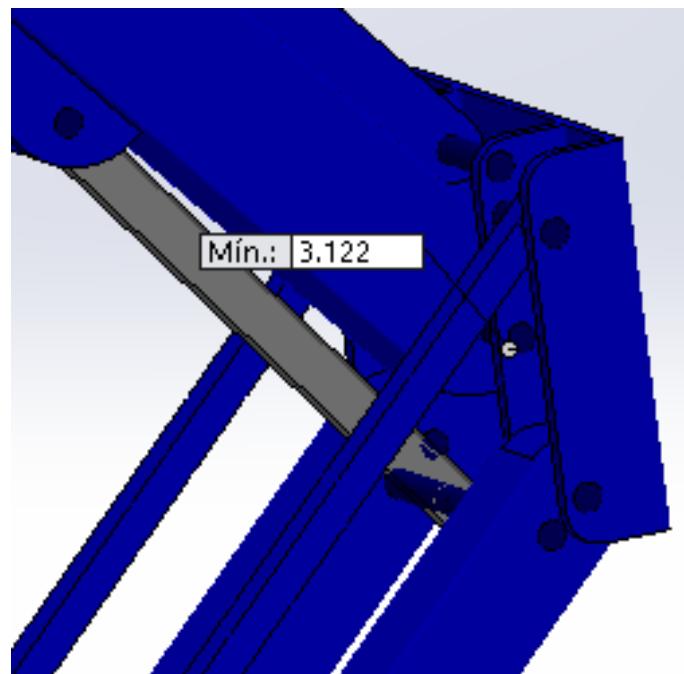


Fig 23. Coeficiente de seguridad en barra 5 después de modificaciones



Y este ha sido el resultado de las tensiones:

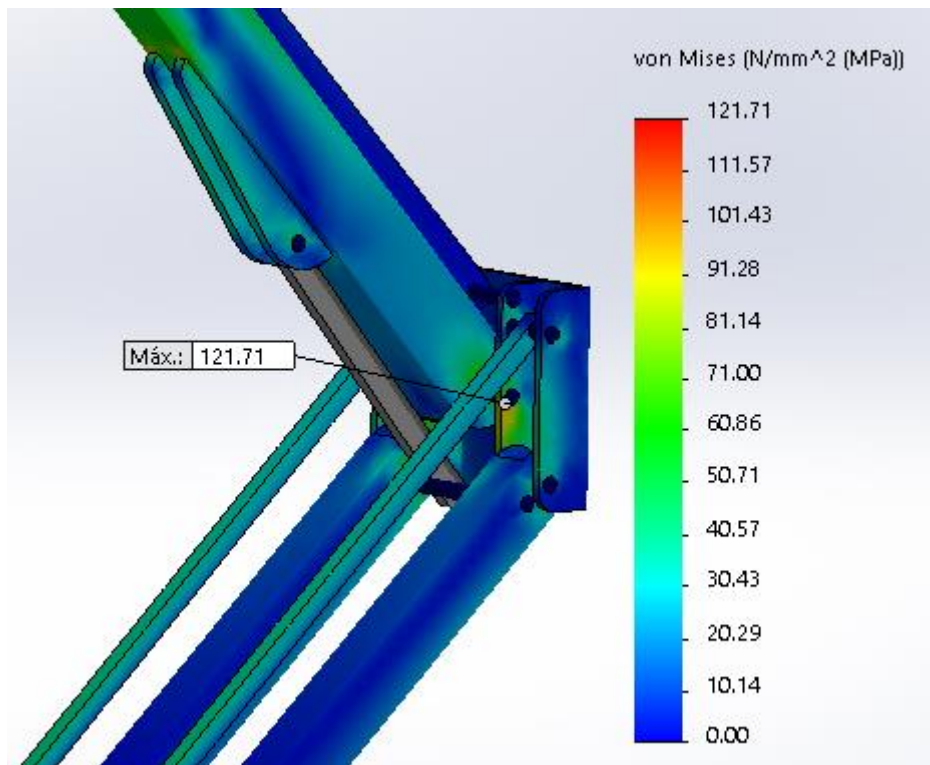


Fig 24. Distribución de tensiones

A continuación, como en el caso anterior, se ha realizado el mismo estudio para varias posiciones de las barras con el fin de comprobar la respuesta de esta ante las cargas.

En la posición más bajas se han vuelto a encontrar pequeñas zonas donde no se cumple el factor de seguridad (véase en las siguientes imágenes), por lo tanto, se ha vuelto a modificar la barra 5 en base a este problema.

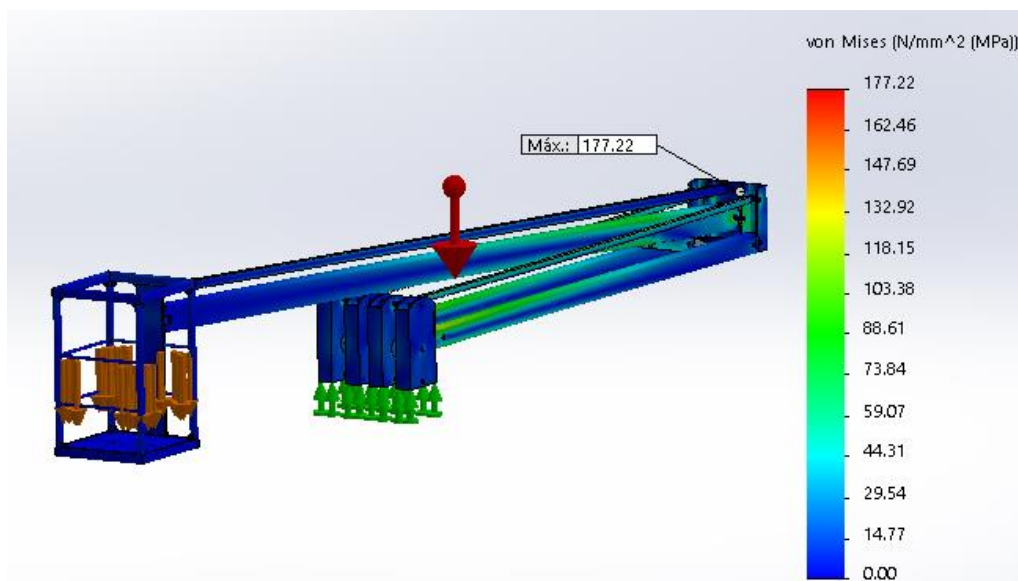


Fig 25. Distribución de tensiones

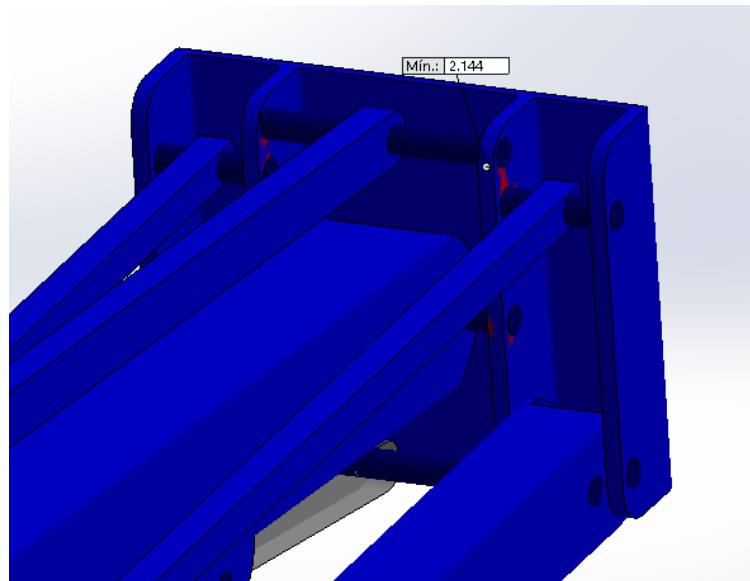


Fig 26. Coeficiente de seguridad mínimo en barra 5

Como se ha comprobado se vuelve a encontrar el fallo en la barra 5 (zonas de color rojo) para ello, se ha aumentado el espesor de las paredes para repartir las tensiones tal y como se ha hecho anteriormente.

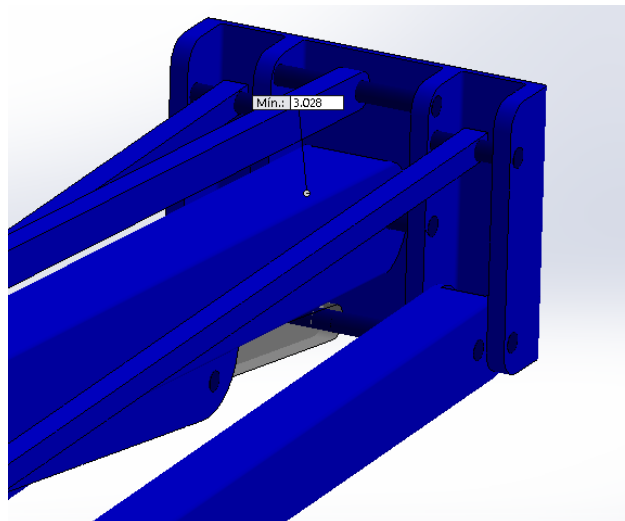


Fig 27. Coeficiente de seguridad despues de modificaciones

Para eliminar las tensiones en esta barra se ha aumentado el espesor hasta los 22mm, espesor en el cual las tensiones dejan de ser superiores a la admisible.

Tras haber simulado varias posiciones de las barras no se han encontrado problemas, esto es debido a que estas dos posiciones que se han estudiado anteriormente eran las mas desfavorables de todas las posibles.

Todos los resultados de las distintas posiciones, tanto factor de seguridad mínimo como distribución de tensiones, se encuentran en el ANEXO 6 junto a varias imágenes y capturas de los resultados de los análisis estáticos.

### 5.3. ANÁLISIS DE LOS PASADORES

Para el análisis de los pasadores se han obtenido las reacciones en estos en varias posiciones de la estructura, una vez teniendo esto, se ha buscado la mayor para analizar el comportamiento del pasador ante las sollicitaciones máximas, al estudiar el comportamiento del pasador con mayor carga nos aseguramos que el resto de los pasadores cumplen el factor de seguridad. En el ANEXO 7 se han expuesto varias capturas con estas reacciones y la máxima es la que corresponde a la imagen siguiente.

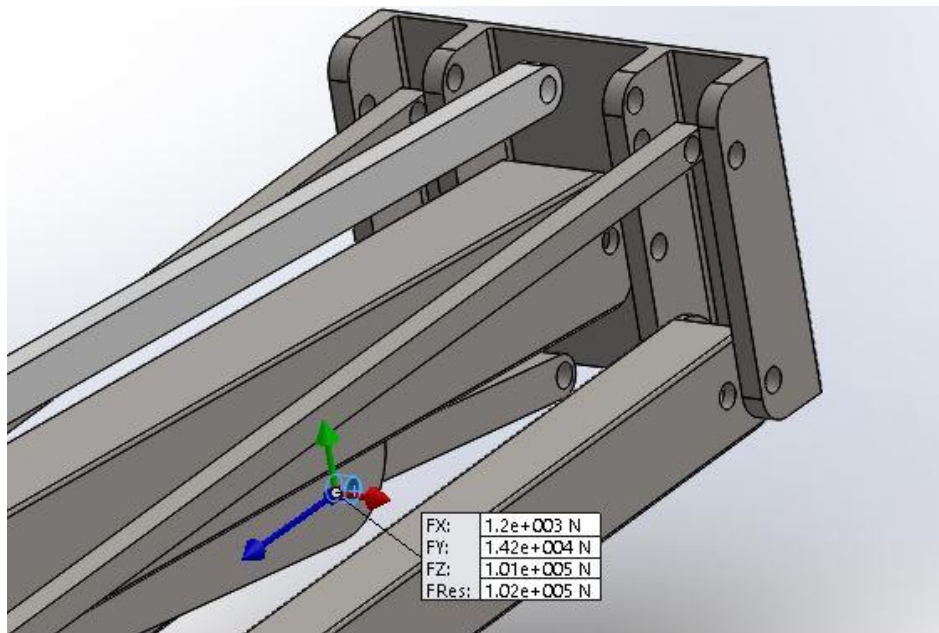


Fig 28. Reacciones máximas en los pasadores

El pasador que más sufre es el que se encuentra en la orejeta en la posición más baja, una vez sabiendo esto se ha procedido al análisis de este.

Al realizar el análisis estático del pasador en SolidWorks aplicando las cargas obtenidas, el programa ha avisado de grandes desplazamientos, es decir, el pasador rompía ante esas sollicitaciones con el material que al principio habíamos elegido. Para resolver este problema se ha decidido cambiar al material de todos los pasadores a un acero aleado con un mayor límite elástico que se encuentra en la propia biblioteca de SolidWorks.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	210000	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	79000	N/mm <sup>2</sup>
Densidad de masa	7800	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	1100.83	N/mm <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/mm <sup>2</sup>
Límite elástico	785.59	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	1.1e-005	/K
Conductividad térmica	14	W/(m·K)
Calor específico	440	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Tabla 4. Propiedades del material de los pasadores

Cambiando el material conseguimos que el coeficiente de seguridad del pasador sea mayor de 3 que es lo que se anda buscando durante todo este trabajo.

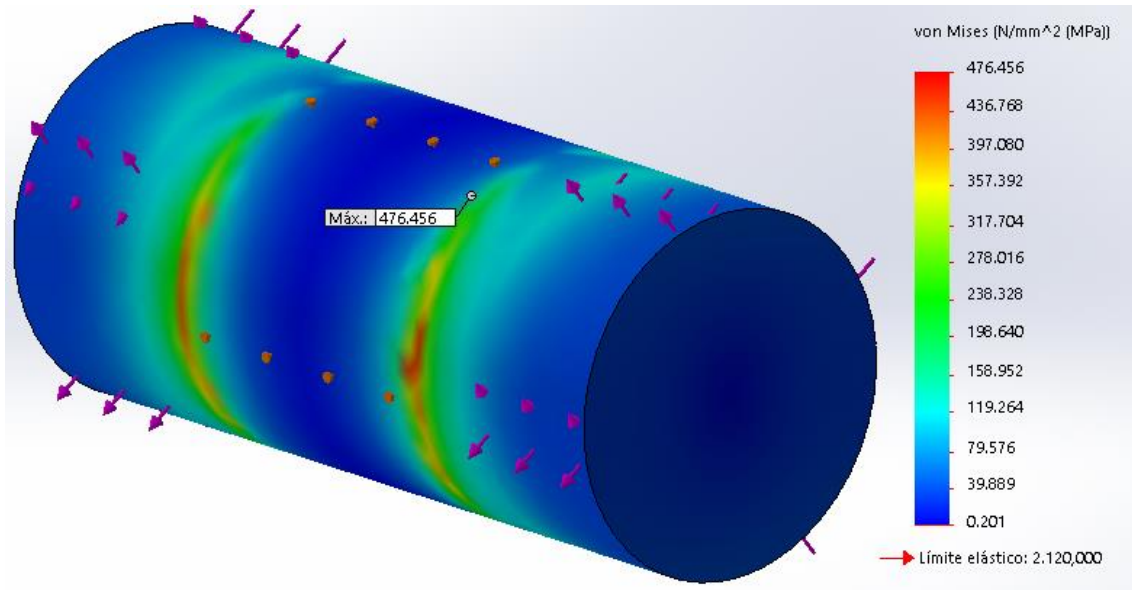


Fig 29. Distribución de tensiones en el pasador

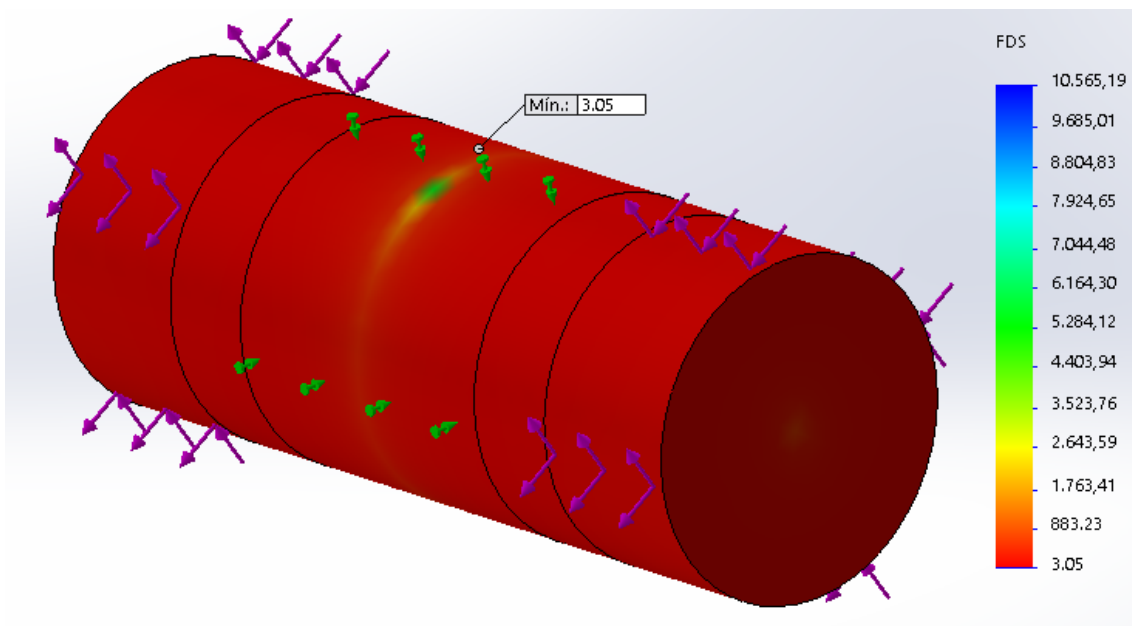


Fig 30. Coeficiente de seguridad mínimo en el pasador

Al ser este el pasador más solicitado nos aseguramos que el resto de los pasadores soportan las cargas sin problema ya que el resto está sometido a cargas mucho más pequeñas.

## 6. CONCLUSIONES

El primer problema que se ha encontrado en el trabajo ha sido el cómo conseguir la estabilidad de la cesta, pero buscando información en internet esto tuvo fácil solución.

El fin de este trabajo ha sido conseguir un documento didáctico en el que queden reflejados los pasos necesarios para diseñar una estructura, en este caso una plataforma elevadora, y los requisitos que debe de cumplir para poder decir que la estructura está bien diseñada.

Aunque este diseño se trata de una maquina ya existente, se han encontrado varios problemas a la hora de diseñar, es decir, no solo ha sido basarse en la idea y simplemente copiarla.

Lo que sí ha quedado claro durante el trabajo es que, a la hora de diseñar una estructura, no es suficiente dimensionar respecto a los cálculos realizados en papel, sino que, es muy importante una vez hecho este pre-dimensionado modelarlo en 3D y someterlo a un estudio estático para ver cómo reacciona ante una situación con cargas reales y comprobar si se produce alguna “falla” en esta.

En conclusión, este ha sido un trabajo muy interesante y didáctico de realizar ya que a lo largo de él se han aprendido y entendido muchas de las cosas que no se explican durante el curso y se aprenden con la experiencia.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Enciclopedia libre: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- Catálogo de perfiles comerciales grupo CONDESA.
- Libro CRITERIOS DE DISEÑO DE MÁQUINAS Universidad de Zaragoza.
- Libro RESISTENCIA DE MATERIALES Timoshenko (Paraninfo).
- “Gran libro de SolidWorks” Sergio Gómez

# ANEXOS

## ANEXO 1

### ANEXO 1.1. ECUACIONES DEL SISTEMA

Para obtener las ecuaciones del sistema primero se ha nombrado cada barra y nudo de la estructura.

### ANEXO 1.2. BARRAS Y NUDOS

Los nombres asignados a cada componente del sistema son:

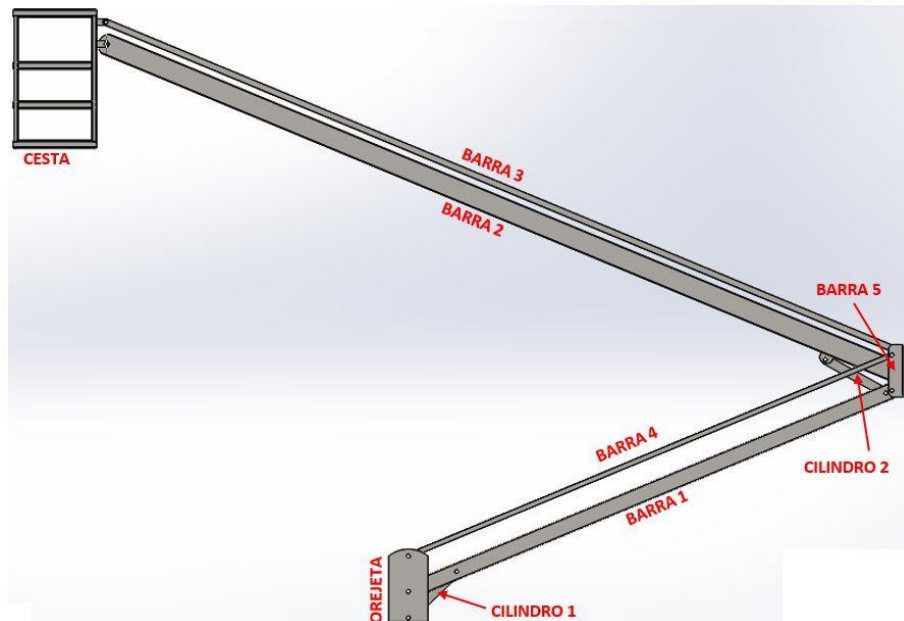


Fig 31. Nomenclatura de barras

Y los nombres de cada nudo:

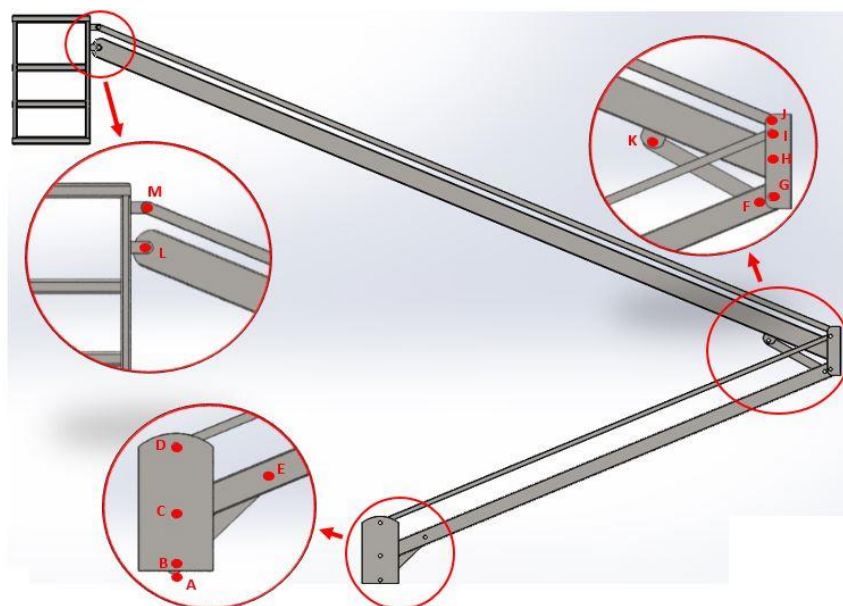


Fig 32. Nomenclatura de nudos



### ANEXO 1.3. ECUACIONES DE SÓLIDO LIBRE

Una vez asignados los nombres a cada barra y sus nudos se procedió al desarrollo de las ecuaciones de sólido libre de cada elemento por separado.

Para facilitar el cálculo de fuerzas de todos los nudos en las distintas inclinaciones se han dejado todos los parámetros en función de los ángulos de la barra 1 y 2.

- $\alpha \rightarrow$  ángulo formado por la barra 1 y el eje horizontal.
- $\beta \rightarrow$  ángulo formado por la barra 2 y el eje horizontal.

Se han dejado en función de estos dos ángulos todas las ecuaciones que lo requería.

#### CILINDRO 1

Antes de plantear las ecuaciones de equilibrio del cilindro se halló el ángulo del cilindro en función de los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$ .

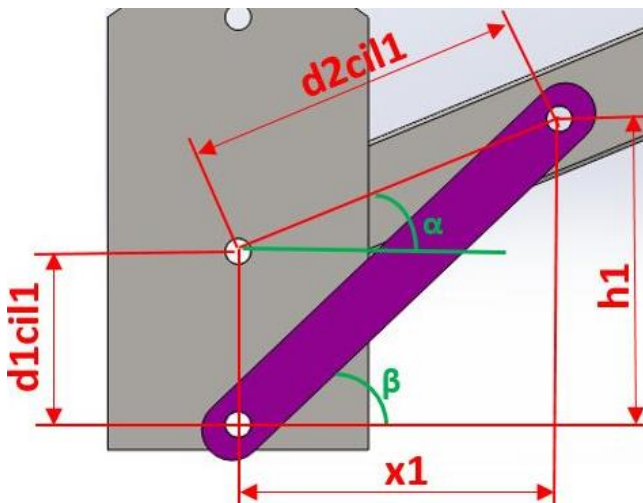


Fig 33. Cilindro 1

$$h1 = d1cil1 + d2cil1 * \text{sen}\alpha$$

$$x1 = d2cil1 * \text{cos}\alpha$$

$$\text{tg}\beta = \frac{h1}{x1} = \frac{d1cil1 + d2cil1 * \text{sen}\alpha}{d2cil1 * \text{cos}\alpha}$$

$$\beta = \text{arctg}\left(\frac{d1cil1 + d2cil1 * \text{sen}\alpha}{d2cil1 * \text{cos}\alpha}\right)$$

$$\text{longcil1} = \sqrt{(x1^2 + h1^2)}$$

Se ha dejado todo en función de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  para facilitar los resultados.

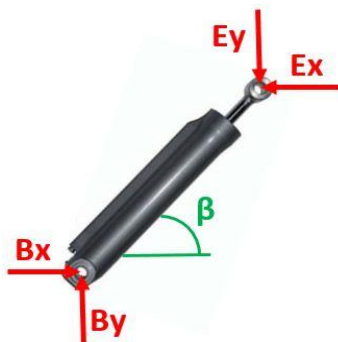


Fig 34. DSL cilindro 1

Teniendo estas ecuaciones se procedió al DSL del cilindro 1:

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow B_x - E_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow B_y - E_y = 0$$

$$\Sigma M_b = 0 \rightarrow E_x * \text{longcil1} * \text{sen}\beta - E_y * \text{longcil1} * \text{cos}\beta = 0$$

Donde:

- $\text{longcil1} \rightarrow$  longitud del cilindro 1



**CILINDRO 2**

Para el cilindro dos se ha trabajado de la misma manera que en el cilindro 1 dejando su ángulo en función de  $\alpha$  y  $\beta$ .

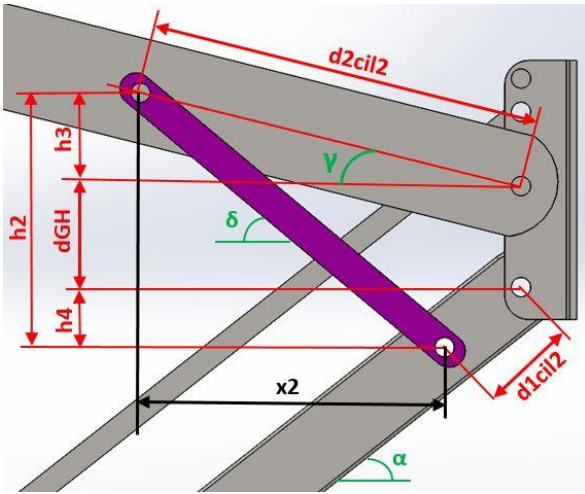


Fig 35. Cilindro 2

$$h3 = d2cil2 * \text{seny}$$

$$h4 = d1cil2 * \text{sen}\alpha$$

$$h2 = h3 + h4 + dGH$$

$$x2 = d2cil2 * \text{cosy} - d1cil2 * \text{cos}\alpha$$

$$\text{tg}\delta = \frac{h2}{x2} = \frac{d2cil2 * \text{seny} + d1cil2 * \text{sen}\alpha + dGH}{d2cil2 * \text{cosy} - d1cil2 * \text{cos}\alpha}$$

$$\delta = \text{arctg}\left(\frac{h2}{x2}\right) = \text{arctg}\left(\frac{d2cil2 * \text{seny} + d1cil2 * \text{sen}\alpha + dGH}{d2cil2 * \text{cosy} - d1cil2 * \text{cos}\alpha}\right)$$

Una vez teniendo esto el DSL queda:



Fig 36. DSL cilindro 2

$$\Sigma Fx = 0 \rightarrow Kx - Fx = 0$$

$$\Sigma Fy = 0 \rightarrow -Ky + Fy = 0$$

$$\Sigma Mf = 0 \rightarrow -Kx * \text{longcil2} * \text{sen}\delta + Ky * \text{longcil2} * \text{cos}\delta = 0$$

Donde:

- longcil2 → longitud del cilindro 2

**BARRA 1**

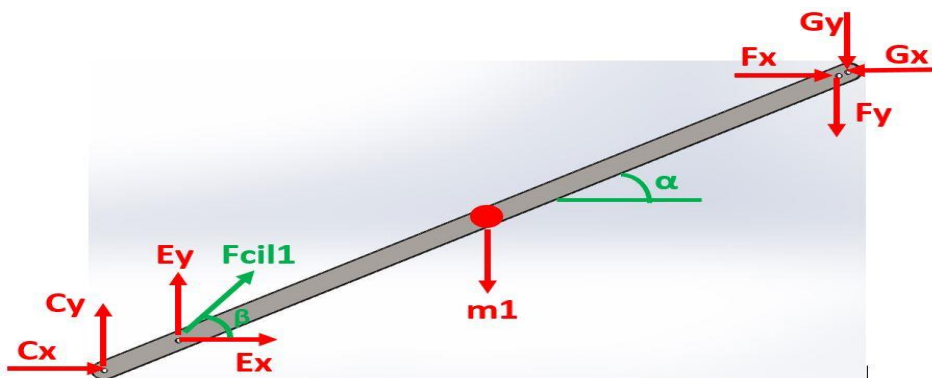


Fig 37. DSL barra 1

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow C_x + E_x + F_x - G_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow C_y + E_y - m_1 * g - F_y - G_y = 0$$

$$\Sigma M_c = 0 \rightarrow E_y * d_{2cil1} * \cos\alpha - E_x * d_{2cil1} * \sin\alpha - m_1 * g * \frac{longb1y4}{2} * \cos\alpha - F_x * (longb1y4 - d_{1cil2}) * \sin\alpha - F_y * (longb1y4 - d_{1cil2}) * \cos\alpha - G_y * longb1y4 * \cos\alpha + G_x * longb1y4 * \sin\alpha = 0$$

$$E_y = F_{cil1} * \sin\beta$$

Donde:

- longb1y4 → longitud de la barra 1
- d1cil2 → distancia del nudo G al F
- d2cil1 → distancia del nudo C al E
- Fcil1 → fuerza del cilindro 1
- m1 → masa de la barra 1

### BARRA 2

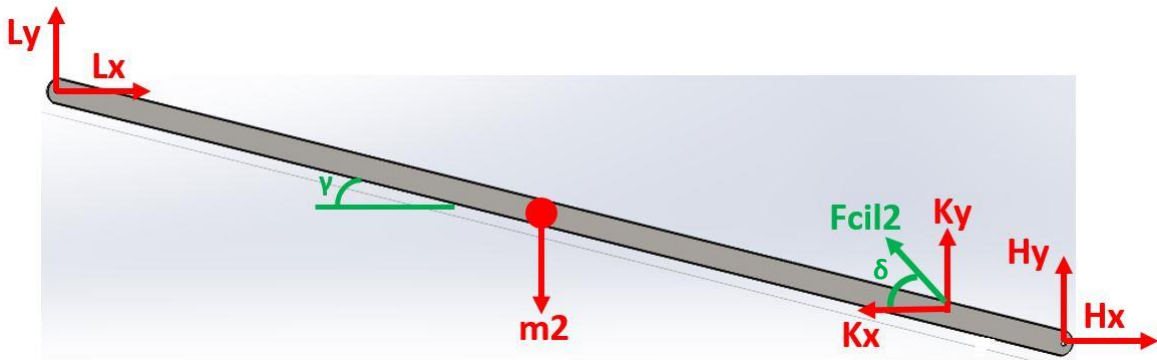


Fig 38. DSL barra 2

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow H_x - K_y + L_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow H_y + K_y - m_2 * g + L_y = 0$$

$$\Sigma M_h = 0 \rightarrow K_x * d_{2cil2} * \sin\gamma - K_y * d_{2cil2} * \cos\gamma + m_2 * g * \frac{longb2y3}{2} * \cos\gamma - L_x * longb2y3 * \sin\gamma - L_y * longb2y3 * \cos\gamma = 0$$

$$K_y = F_{cil2} * \sin\delta$$

Donde:

- longb2y3 → longitud de la barra 2
- m2 → masa de la barra
- Fcil2 → fuerza del cilindro 2
- d2cil2 → distancia del punto H al K

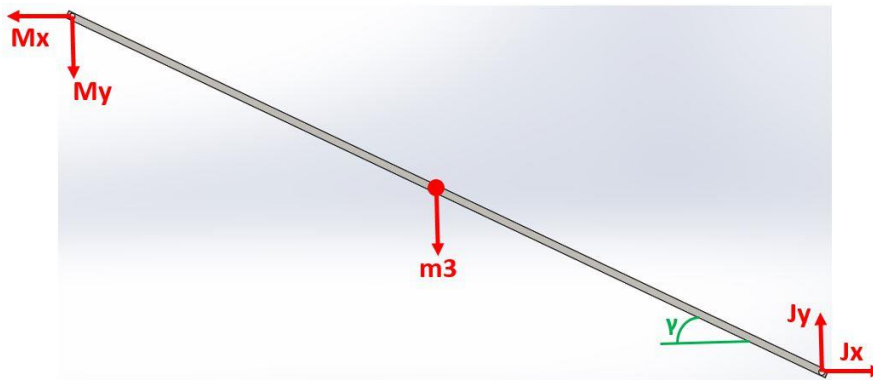
**BARRA 3**

Fig 39. DSL barra 3

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow J_x - M_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow J_y - m_3 * g - M_y = 0$$

$$\Sigma M_j = 0 \rightarrow m_3 * g * \frac{\text{longb2y3}}{2} * \cos\gamma + M_y * \text{longb2y3} * \cos\gamma + M_x * \text{longb2y3} * \text{sen}\gamma = 0$$

Donde:

- longb2y3 → longitud de la barra 3
- m3 → masa de la barra 3

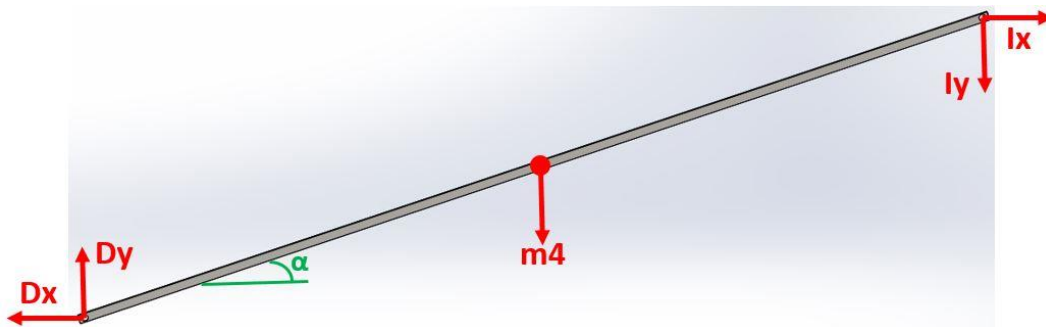
**BARRA 4**

Fig 40. DSL barra 4

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow I_x - D_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow D_y - I_y - m_4 * g = 0$$

$$\Sigma M_d = 0 \rightarrow -m_4 * g * \frac{\text{longb1y4}}{2} * \cos\alpha - I_y * \text{longb1y4} * \cos\alpha - I_x * \text{longb1y4} * \text{sen}\alpha = 0$$

Donde:

- longb1y4 → longitud de la barra 4
- m4 → masa de la barra 4

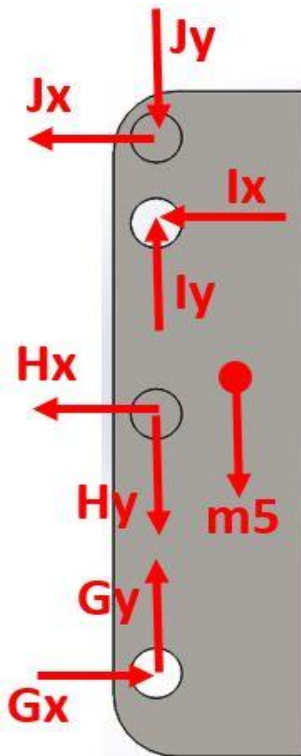


Fig 41. DSL barra 5

**BARRA 5**

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow -J_x - I_x - H_x + G_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow -J_y + I_y - H_y + G_y - m_5 * g = 0$$

$$\Sigma M_g = 0 \rightarrow H_x * (\text{longb5} - d_{HJ}) + I_x * d_{GI} + J_x * \text{longb5} = 0$$

Donde:

- $m_5 \rightarrow$  masa de la barra 5
- $\text{longb5} \rightarrow$  longitud de la barra 5
- $d_{HJ} \rightarrow$  distancia del punto H al J
- $d_{GI} \rightarrow$  distancia el punto G al I

**CESTA**

La carga de 2500N simula el peso de la cesta más el peso del operario con su herramienta.

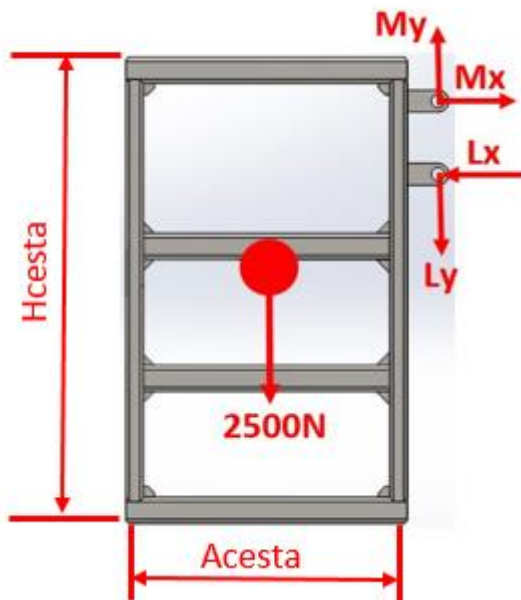


Fig 42. DSL cesta

$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow M_x - L_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow -2500 - L_y + M_y = 0$$

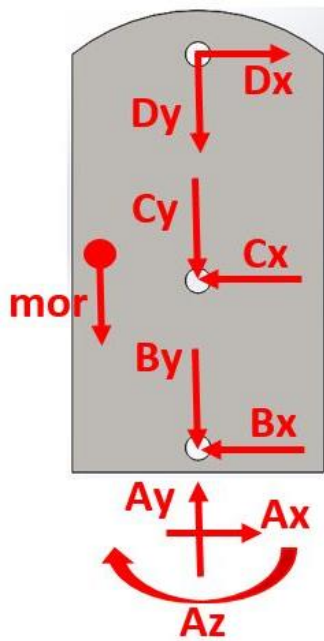
$$\Sigma M_m = 0 \rightarrow 2500 * \frac{\text{Acesta}}{2} - L_x * d_{LM} = 0$$

Donde:

- $\text{Acesta} \rightarrow$  anchura de la cesta
- $d_{LM} \rightarrow$  distancia del punto L al M

**OREJETA**

El punto A estará empotrado al suelo o al chasis.



$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow D_x - C_x - B_x + A_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow -D_y - C_y - B_y + A_y - M_{or} * g = 0$$

$$\Sigma M_a = 0 \rightarrow -A_z + B_x * (Horejeta - d_{1cil1} - d_{CD}) + C_x * (Horejeta - d_{CD}) - D_x * Horejeta = 0$$

Donde:

- Horejeta → altura de la orejeta
- d1cil1 → distancia del punto B al C
- Mor → masa de la orejeta
- dCD → distancia del punto C al D

Fig 43. DSL orejeta

## ANEXO 2

## ANEXO 2.1. NOMENCALTURA Y VALORES DE LA ESTRUCTURA

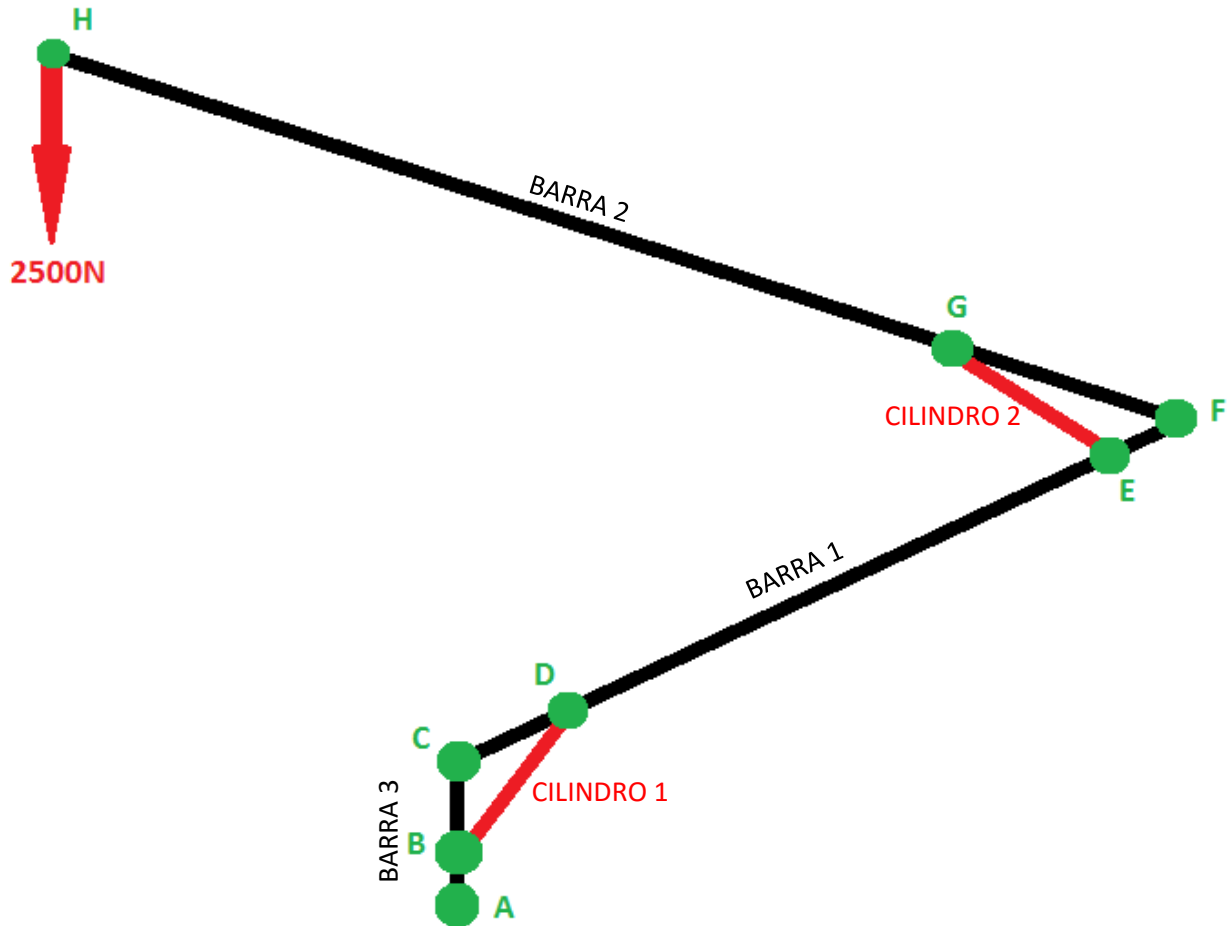


Fig 44. Nomenclatura barra simplificada

Para simplificar aún más los cálculos teóricos se ha elegido la configuración de barras donde la barra 2 forma 0° y la barra 1 forma 45°, ambos con el eje horizontal.

Para dichos cálculos se han dado los siguientes parámetros:

- Longitud de la barra 1 → 6500 mm
- Longitud de la barra 2 → 4000 mm
- Masa de la barra 1 → 100 Kg
- Masa de la barra 2 → 150 Kg
- Gravedad →  $10 \frac{m}{s^2}$

Y las cotas las representadas en la siguiente figura (cotas en milímetros):

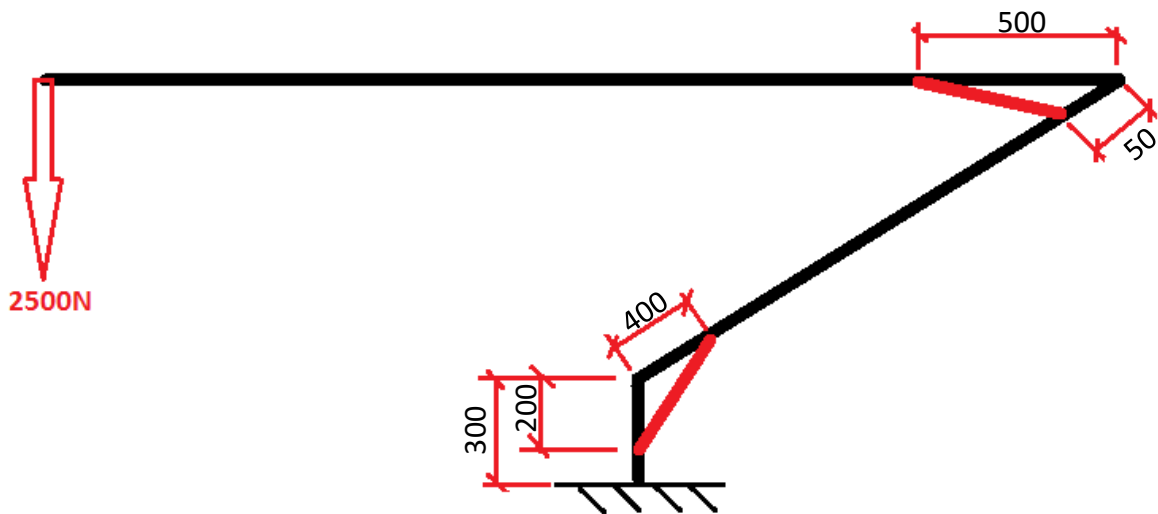


Fig 45. Posicion estructura simplificada

ANEXO 2.2. DIAGRAMAS DE SOLIDO LIBRE

**BARRA 1**

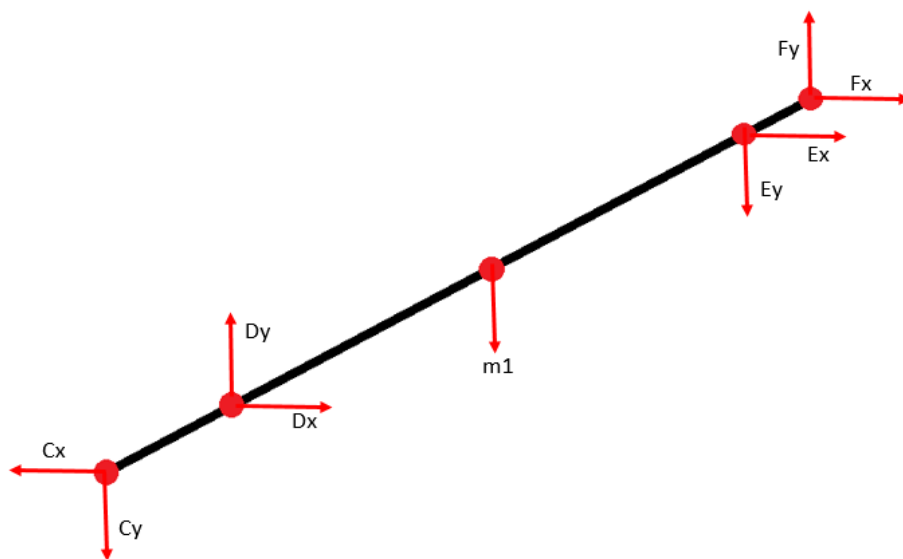


Fig 46. DSL barra 1

**BARRA 2**

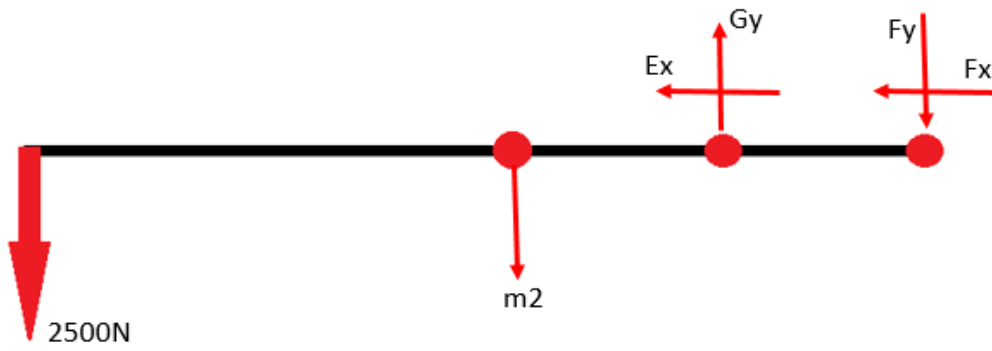


Fig 47. DSL barra 2

**CILINDRO 1**

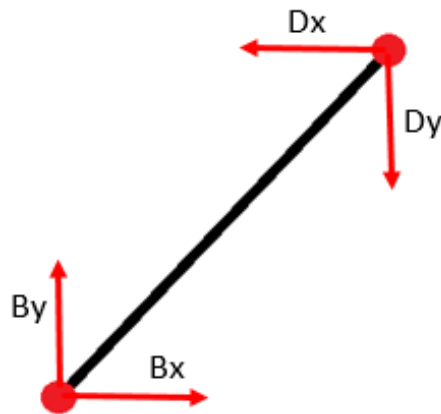


Fig 48. DSL cilindro 1

**CILINDRO 2**

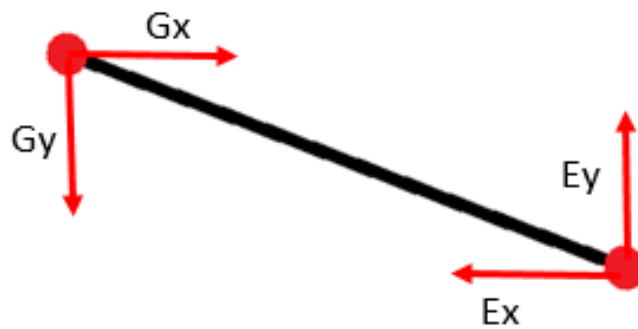


Fig 49. DSL cilindro 2



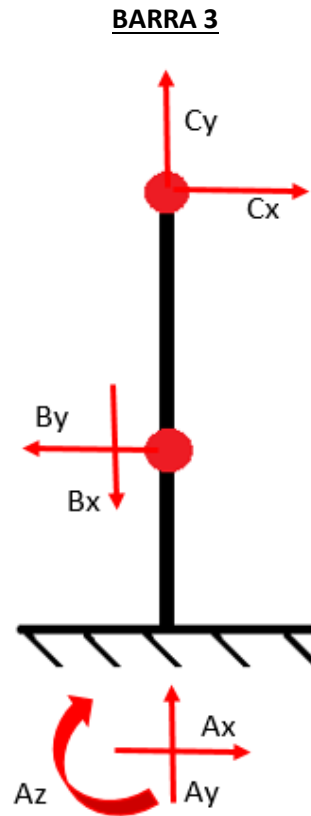


Fig 50. DSL orejeta

## ANEXO 2.3. CÁLCULOS TEÓRICOS.

**BARRA 1**

$$(1) \Sigma Mc = 0 \rightarrow Dy * \cos 45 * 400 - Dx * \sin 45 * 400 - m1 * g * \cos 45 * 2000 - Ey * \cos 45 * 3950 - Ex * \sin 45 * 3950 + Fy * 4000 * \cos 45 - Fx * 4000 * \sin 45 = 0$$

$$(2) \Sigma Fx = 0 \rightarrow -Cx + Dx + Ex + Fx = 0$$

$$(3) \Sigma Fy = 0 \rightarrow -Cy + Dy - m1 * g - Ey + Fy = 0$$

**BARRA 2**

$$(4) \Sigma Mf = 0 \rightarrow -Gy * 500 + m2 * g * 3250 + 2500 * 6500 = 0$$

$$(5) \Sigma Fx = 0 \rightarrow -Gx - Fx = 0$$

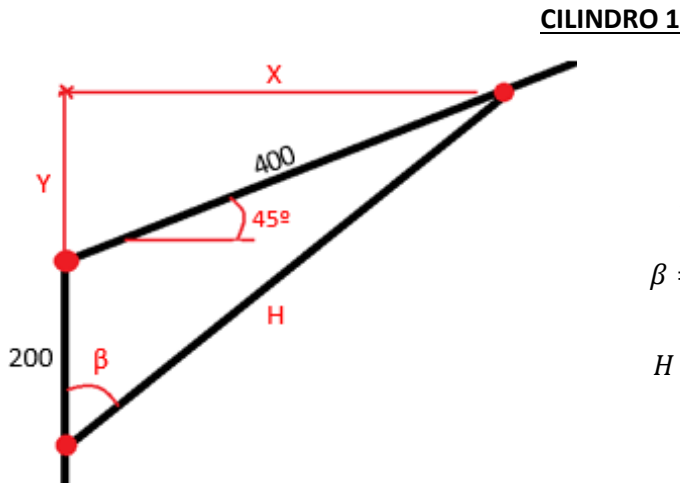
$$(6) \Sigma Fy = 0 \rightarrow -2500 - m2 * g - Fy + Gy = 0$$

**BARRA 3**

$$(7) \Sigma Ma = 0 \rightarrow Bx * 100 - Cx * 300 - Az = 0$$

$$(8) \Sigma Fx = 0 \rightarrow Cx - Bx + Ax = 0$$

$$(9) \Sigma Fy = 0 \rightarrow Cy - By + Ay = 0$$



$$Y = 400 * \text{sen}45 = 282.8427\text{mm}$$

$$X = 400 * \text{cos}45 = 282.8427\text{mm}$$

$$\beta = \text{cotg} \frac{282.8427}{200 + 282.8427} = 30.3611^\circ$$

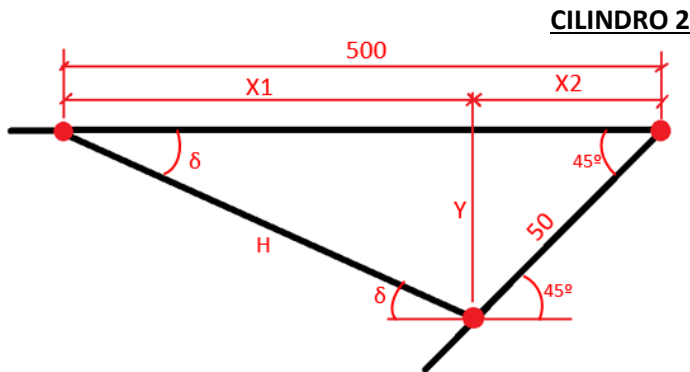
$$H = \frac{200 + 282.8427}{\text{cos}30.3611} = 559.5851\text{mm}$$

Fig 51. Cilindro 1

$$(10) \Sigma M_b = 0 \rightarrow D_x * \text{sen}59.6388 * 559.5851 - D_y * \text{cos}59.6388 * 559.5851 = 0$$

$$(11) \Sigma F_x = 0 \rightarrow -D_x + B_x = 0$$

$$(12) \Sigma F_y = 0 \rightarrow B_y - D_y = 0$$



$$Y = X_2 = 50 * \text{cos}45 = 35.3553\text{mm}$$

$$X_1 = 500 - 35.3553 = 464.6446\text{mm}$$

$$\delta = \text{cotg} \frac{35.3553}{464.6446} = 4.3513^\circ$$

$$H = \frac{35.3553}{\text{sen}4.3513} = 465.987\text{mm}$$

Fig 52. Cilindro 2

$$(13) \Sigma M_e = 0 \rightarrow G_y * \text{cos}4.3513 * 465.987 - G_x * \text{sen}4.3513 * 465.987 = 0$$

$$(14) \Sigma F_x = 0 \rightarrow G_x - E_x = 0$$

$$(15) \Sigma F_y = 0 \rightarrow E_y - G_y = 0$$

**RESOLUCIÓN**

1. (4)  $\rightarrow -500 * Gy + 21,125E + 06 = 0 \rightarrow Gy = 42250N$
2. (6)  $\rightarrow Fy = -2500 - 1500 + 42250 \rightarrow Fy = 38250N$
3. (15)  $\rightarrow Gy = Ey = 42250N$
4. (13)  $\rightarrow Gx = \frac{35,3551}{19,6312E+06} \rightarrow Gx = 555257N$
5. (14)  $\rightarrow Gx = Ex = 555257N$
6. (5)  $\rightarrow -Gx = Fx = -555257N$
7. (1) y (10)  $\rightarrow 282.8427 * Dy - 282.8427 * Dx - 1.4142 * 10^6 - 118 * 10^6 - 1.55 * 10^9 + 108.18 * 10^6 + 1.57 * 10^9 = 0$   
 $282,8427 * Dy - 282,8427 * Dx + 8,7658 * 10^6 = 0$   
 $Dy = \frac{-8.7658*10^6+282.8427*Dx}{282.8427} = -30.9917 * 10^3 + Dx \rightarrow Dy = -74820.2N$
8. (1)  $\rightarrow 482.8414 * Dx + 8.7657 * 10^6 - 282.8420 * Dx = 0$   
 $Dx = \frac{-8.7657*10^6}{200} \rightarrow Dx = -4328.5N$
9. (2)  $\rightarrow Cx = -4328.5 + 555257 - 555257 \rightarrow Cx = -4328.5N$
10. (3)  $\rightarrow Cy = -74820 - 1000 - 42250 + 38250 \rightarrow Cy = -79820.2N$
11. (11)  $\rightarrow Dx = Bx = -4328.5N$
12. (12)  $\rightarrow Dy = By = -74820.2N$
13. (7)  $\rightarrow Az = -4328 * 100 + 4328,5 * 300 \rightarrow Az = 8,7657*10^6Nmm$
14. (8)  $\rightarrow Ax = 4328.5 - 4328.5 \rightarrow Ax = 0$
15. (9)  $\rightarrow Ay = 79520.2 - 74820 \rightarrow Ay = 5000N$

## ANEXO 2.4. CÁLCULO ANALÍTICO

## ANEXO 2.4.1. ECUACIONES IMPLEMENTADAS

$$\begin{aligned} m1 &= 100 \\ m2 &= 150 \\ g &= 10 \end{aligned}$$

## {BARRA 1}

$$\begin{aligned} Dy \cdot \cos(45) \cdot 400 - Dx \cdot \sin(45) \cdot 400 - m1 \cdot g \cdot \cos(45) \cdot 2000 - Ey \cdot \cos(45) \cdot 3950 - Ex \cdot \sin(45) \cdot 3950 + Fy \cdot 4000 \cdot \cos(45) - Fx \cdot 4000 \cdot \sin(45) &= 0 \\ -Cx + Dx + Ex + Fx &= 0 \\ -Cy + Dy - m1 \cdot g - Ey + Fy &= 0 \end{aligned}$$

## {BARRA 2}

$$\begin{aligned} -Gy \cdot 500 + m2 \cdot g \cdot 3250 + 2500 \cdot 6500 &= 0 \\ -Gx - Fx &= 0 \\ -2500 - m2 \cdot g - Fy + Gy &= 0 \end{aligned}$$

## {CILINDRO 2}

$$\begin{aligned} Gy \cdot \cos(4,3513) \cdot 465,987 - Gx \cdot \sin(4,3513) \cdot 465,987 &= 0 \\ Gx - Ex &= 0 \\ Ey - Gy &= 0 \end{aligned}$$

## {CILINDRO 1}

$$\begin{aligned} Dx \cdot \sin(59,6388) \cdot 559,5851 - Dy \cdot \cos(59,6388) \cdot 559,5851 &= 0 \\ -Dx + Bx &= 0 \\ By - Dy &= 0 \end{aligned}$$

## {BARRA 3}

$$\begin{aligned} Bx \cdot 100 - Cx \cdot 300 - Az &= 0 \\ Cx - Bx + Ax &= 0 \\ Cy - By + Ay &= 0 \end{aligned}$$

RESULTADOS

Los resultados obtenidos del sistema de ecuaciones han sido:

$$\begin{aligned} Ax &= -0,00001492 & Ay &= 5000 & Az &= 8,397E+06 & Bx &= -41986 & By &= -71674 \\ Fx &= -555257 & Fy &= 38250 & g &= 10 & Gx &= 555257 & Gy &= 42250 \\ Cy &= -76674 & Dx &= -41986 & Dy &= -71674 & Ex &= 555257 & Ey &= 42250 \\ m2 &= 150 \\ Cx &= -41986 \\ m1 &= 100 \end{aligned}$$

### ANEXO 3

#### ANEXO 3.1 VALORES DE LOS PARÁMETROS PRIMERA ITERACIÓN

Para la primera iteración en el cálculo de la estructura se han dado unos valores intuitivos para comenzar con el análisis y seguir con más iteraciones posteriormente. Los valores que se han aplicado a los parámetros en esta primera iteración han sido:

Parámetro	longb1y4	longb2y3	longb5	d1cil1	d2cil1	d1cil2
Valor [mm]	4000	7000	400	200	400	100

Parámetro	d2cil2	Horejeta	Hcesta	Acesta	dHJ	dGI
Valor [mm]	500	400	1000	600	150	150

Parámetro	m1	m2	m3	m4	m5	mor
Valor [Kg]	100	100	100	100	50	50

Tabla 5. Valores de la primera iteración

#### ANEXO 3.1.1. REACCIONES EN LOS NUDOS SEGÚN LA POSICION

El siguiente proceso que se ha realizado una vez aplicado los valores a los parámetros ha sido modificar los ángulos de la barras para hallar las reacciones de los diferentes nudos (en ejes locales) y obtener la posición en la cual el cortante es máximo.

#### BARRA 1

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	alfa	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg	
Run 1	0	-231167	95500	78400	57267	-41250	47750	-49000	43500	
Run 2	5	-227520	96200	71272	60136	-39441	45916	-55423	49944	
Run 3	10	-225225	96741	63960	64698	-37429	43830	-61034	55617	
Run 4	15	-224141	97017	56527	70856	-35208	41487	-65875	60562	
Run 5	20	-224173	96913	49024	78578	-32777	38885	-69988	64820	
Run 6	25	-225282	96296	41495	87913	-30134	36025	-73415	68430	
Run 7	30	-227479	95010	33975	98993	-27283	32913	-76196	71433	
Run 8	35	-230849	92861	26493	112069	-24232	29557	-78369	73863	
Run 9	40	-235568	89596	19072	127542	-20991	25971	-79968	75755	
Run 10	45	-241945	84875	11730	146047	-17574	22170	-81027	77138	

Tabla 6. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando alfa con gamma=0

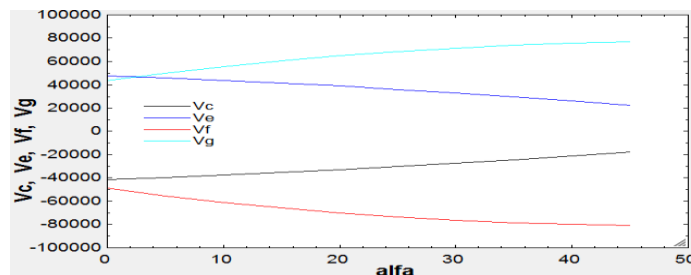


Fig 53. Gráfico de cortantes barra 1 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa con gamma=22,5

Run	alfa	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg
Run 1	0	-189325	82896	60857	45571	-34948	41448	-74208	68708
Run 2	5	-187636	84169	52551	51004	-33698	40173	-78393	72914
Run 3	10	-187002	85245	44250	57681	-32221	38622	-81867	76450
Run 4	15	-187306	86028	35983	65554	-30509	36788	-84672	79360
Run 5	20	-188474	86407	27771	74638	-28561	34669	-86849	81681
Run 6	25	-190480	86260	19633	85010	-26379	32270	-88433	83449
Run 7	30	-193345	85440	11581	96824	-23968	29597	-89457	84693
Run 8	35	-197155	83767	3626	110335	-21338	26662	-89947	85441
Run 9	40	-202080	81007	-4223	125940	-18501	23481	-89928	85714
Run 10	45	-208416	76842	-11961	144242	-15475	20071	-89420	85531

Tabla 7. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando alfa con gamma=22.5

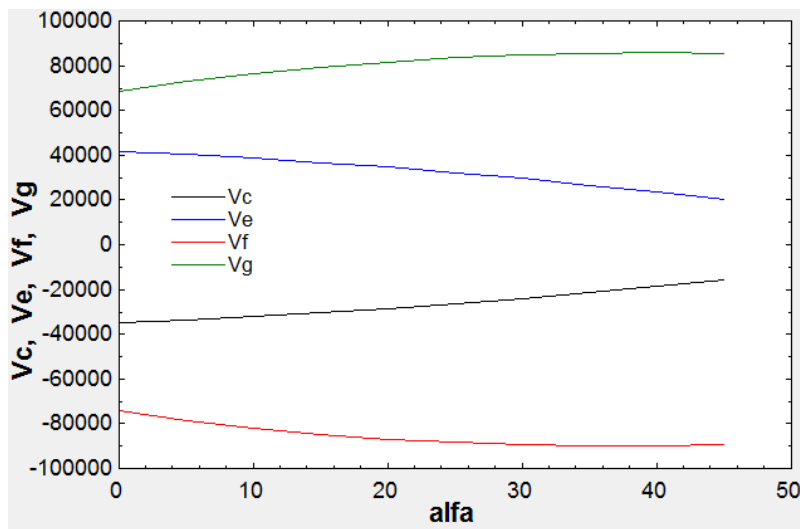


Fig 54. Gráfico de cortantes barra 1 variación de alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa con gamma=45

Run	alfa	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg
Run 1	0	-141914	77751	35497	28665	-32376	38876	-84497	78997
Run 2	5	-142505	79958	27295	35339	-31689	38164	-86432	80953
Run 3	10	-143719	81953	19203	42736	-30729	37130	-87832	82416
Run 4	15	-145476	83654	11221	50859	-29494	35773	-88731	83419
Run 5	20	-147724	84971	3343	59752	-27985	34093	-89155	83986
Run 6	25	-150444	85799	-4434	69502	-26207	32098	-89124	84139
Run 7	30	-153658	86019	-12116	80254	-24169	29798	-88654	83891
Run 8	35	-157430	85485	-19708	92227	-21885	27209	-87760	83254
Run 9	40	-161891	84008	-27217	105743	-19372	24351	-86447	82234
Run 10	45	-167270	81338	-34648	121287	-16650	21246	-84722	80833

Tabla 8. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando alfa con gamma=45

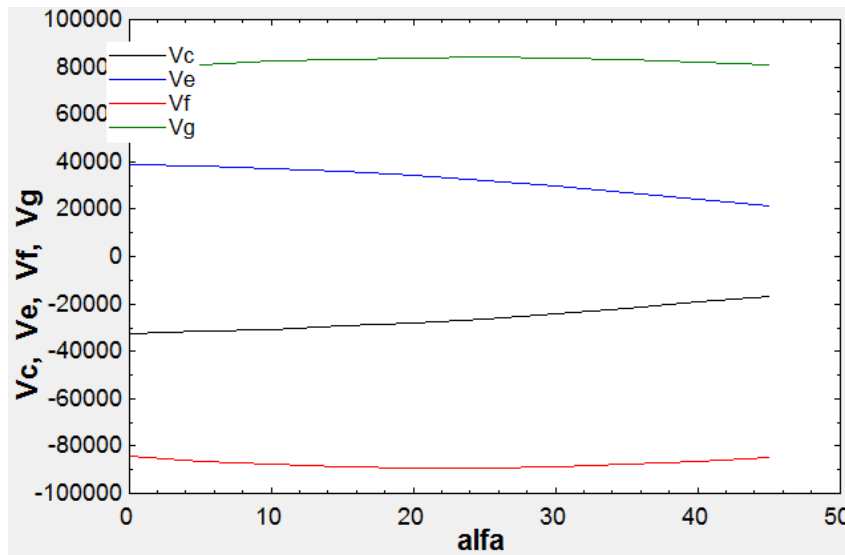


Fig 55. Gráfico de cortantes barra 1 variación de alfa con gamma=45

-Variación de gamma con alfa=0

	7	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg
Run 1	0	-231167	95500	78400	57267	-41250	47750	-49000	43500
Run 2	5	-222850	92202	75389	55259	-39601	46101	-55596	50096
Run 3	10	-213906	89166	71844	52896	-38083	44583	-61668	56168
Run 4	15	-204408	86417	67795	50196	-36709	43209	-67165	61665
Run 5	20	-194447	83984	63277	47185	-35492	41992	-72031	66531
Run 6	25	-184127	81899	58337	43891	-34449	40949	-76203	70703
Run 7	30	-173568	80193	53025	40350	-33597	40097	-79614	74114
Run 8	35	-162906	78905	47401	36601	-32952	39452	-82190	76690
Run 9	40	-152296	78075	41532	32688	-32538	39038	-83850	78350
Run 10	45	-141914	77751	35497	28665	-32376	38876	-84497	78997

Tabla 9. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando gamma con alfa=0

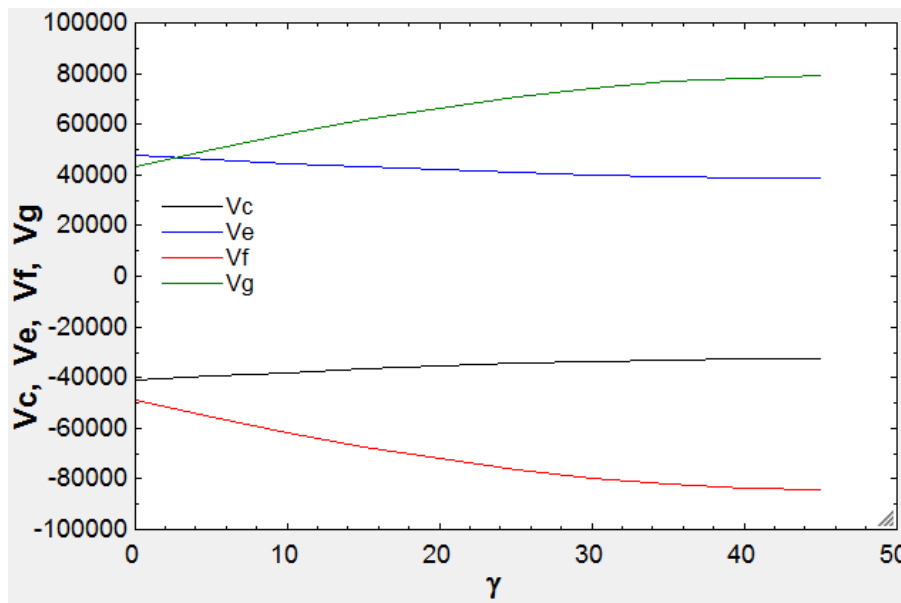


Fig 56. Gráfico de cortantes barra 1 variación de gama con alfa=0.

-Variación de gamma con alfa=22.5

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$\gamma$	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg	
Run 1	0	-224594	96678	45261	83038	-31481	37487	-71785	66703	
Run 2	5	-217665	93726	40978	83344	-30337	36342	-76363	71282	
Run 3	10	-210159	91134	36365	83043	-29332	35337	-80383	75302	
Run 4	15	-202149	88929	31465	82137	-28477	34482	-83803	78721	
Run 5	20	-193717	87139	26330	80631	-27783	33788	-86579	81498	
Run 6	25	-184958	85791	21017	78533	-27260	33265	-88670	83589	
Run 7	30	-175980	84915	15593	75855	-26920	32926	-90029	84948	
Run 8	35	-166903	84542	10131	72613	-26776	32781	-90607	85526	
Run 9	40	-157866	84708	4716	68825	-26840	32845	-90350	85269	
Run 10	45	-149025	85453	-557,3	64512	-27129	33134	-89195	84113	

Tabla 10. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando gamma con alfa=22.5

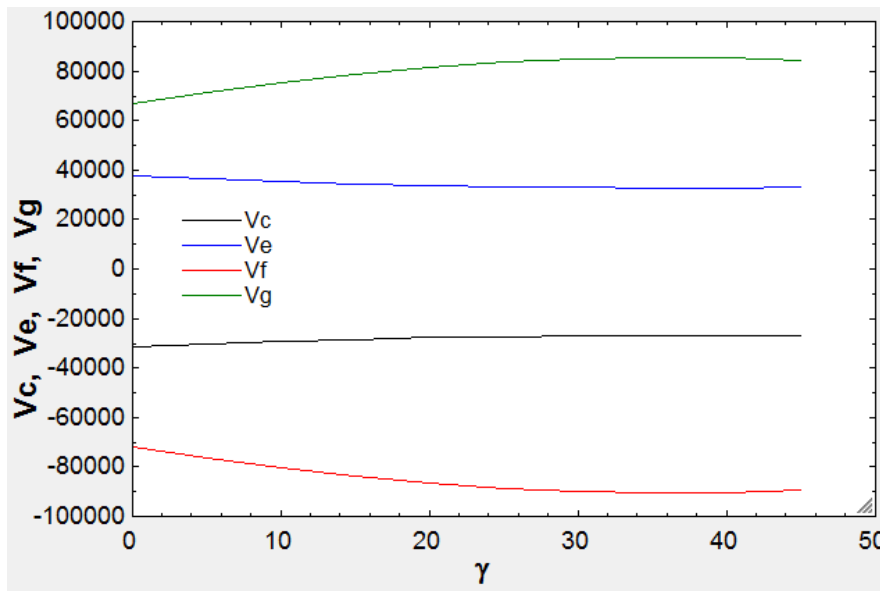


Fig 57. Gráfico de cortantes barra 1 variación de gama con alfa=22.5

-Variación de gamma con alfa=45

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$\gamma$	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg	
Run 1	0	-241945	84875	11730	146047	-17574	22170	-81027	77138	
Run 2	5	-235587	82115	6688	147492	-16853	21449	-83911	80022	
Run 3	10	-228543	79891	1472	147887	-16272	20868	-86234	82345	
Run 4	15	-220883	78230	-3863	147223	-15838	20434	-87970	84081	
Run 5	20	-212687	77153	-9259	145500	-15557	20153	-89095	85206	
Run 6	25	-204045	76685	-14653	142721	-15434	20030	-89584	85695	
Run 7	30	-195059	76845	-19973	138894	-15476	20072	-89417	85527	
Run 8	35	-185844	77657	-25141	134035	-15688	20284	-88568	84679	
Run 9	40	-176531	79146	-30067	128159	-16077	20673	-87013	83124	
Run 10	45	-167270	81338	-34648	121287	-16650	21246	-84722	80833	

Tabla 11. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando gamma con alfa=45.



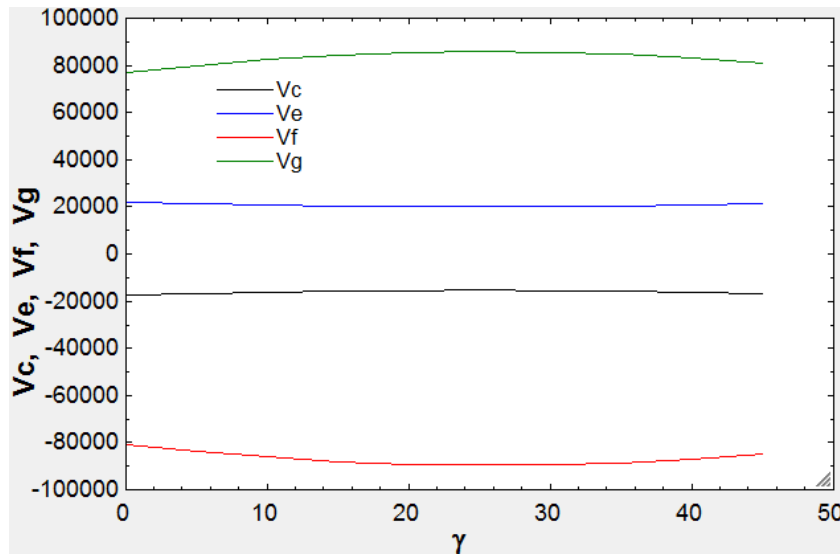


Fig 58. Gráfico de cortantes barra 1 variación de gama con alfa=45

**BARRA 2**

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=0

Run	alfa	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI
Run 1	0	73400	-78400	5000	-45000	49000	-3000
Run 2	5	70831	-75831	5000	-45000	49000	-3000
Run 3	10	68587	-73587	5000	-45000	49000	-3000
Run 4	15	66650	-71650	5000	-45000	49000	-3000
Run 5	20	65005	-70005	5000	-45000	49000	-3000
Run 6	25	63634	-68634	5000	-45000	49000	-3000
Run 7	30	62522	-67522	5000	-45000	49000	-3000
Run 8	35	61652	-66652	5000	-45000	49000	-3000
Run 9	40	61013	-66013	5000	-45000	49000	-3000
Run 10	45	60589	-65589	5000	-45000	49000	-3000

Tabla 12. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando alfa con gamma=0

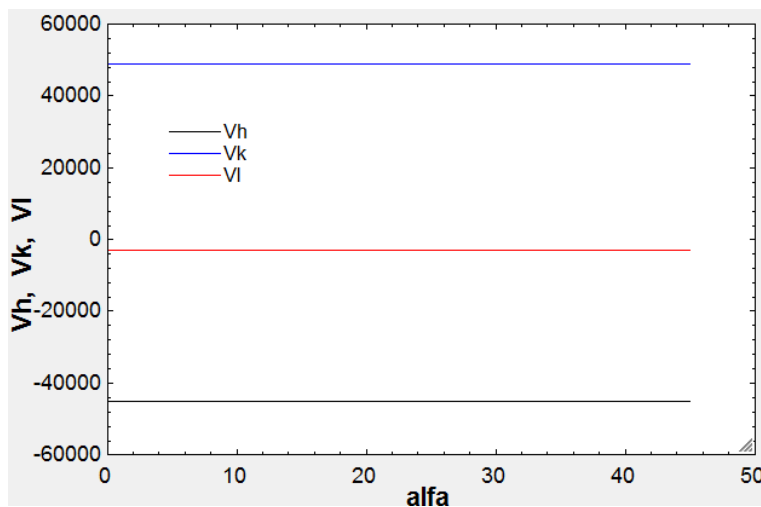


Fig 59. Gráfico de cortantes barra 2 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=22.5

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8
	alfa	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI	
Run 1	0	77680	-84623	6560	-41575	45270	-2772	
Run 2	5	75868	-82811	6560	-41575	45270	-2772	
Run 3	10	74364	-81307	6560	-41575	45270	-2772	
Run 4	15	73149	-80092	6560	-41575	45270	-2772	
Run 5	20	72207	-79150	6560	-41575	45270	-2772	
Run 6	25	71521	-78464	6560	-41575	45270	-2772	
Run 7	30	71078	-78021	6560	-41575	45270	-2772	
Run 8	35	70866	-77808	6560	-41575	45270	-2772	
Run 9	40	70874	-77817	6560	-41575	45270	-2772	
Run 10	45	71094	-78036	6560	-41575	45270	-2772	

Tabla 13. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando alfa con gamma=22.5

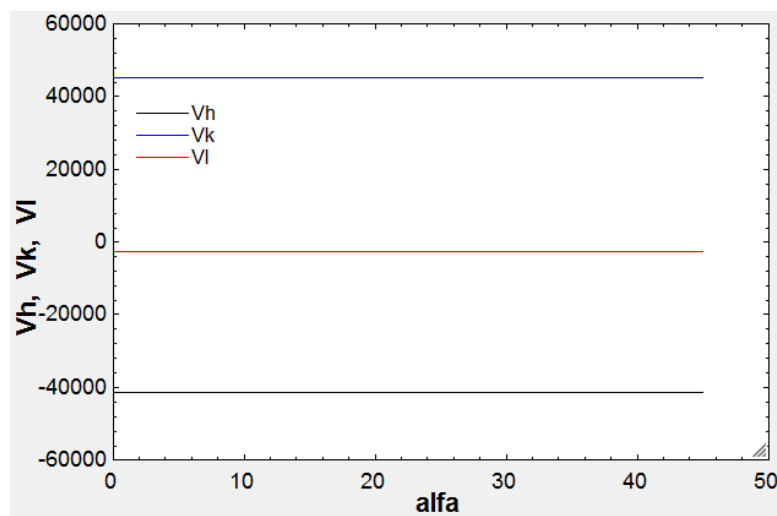


Fig 60. Gráfico de cortantes barra 2 variación de alfa con gamma=22.5.

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=45

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8
	alfa	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI	
Run 1	0	74950	-84849	9192	-31820	34648	-2121	
Run 2	5	73856	-83755	9192	-31820	34648	-2121	
Run 3	10	73063	-82963	9192	-31820	34648	-2121	
Run 4	15	72555	-82454	9192	-31820	34648	-2121	
Run 5	20	72315	-82215	9192	-31820	34648	-2121	
Run 6	25	72333	-82232	9192	-31820	34648	-2121	
Run 7	30	72598	-82498	9192	-31820	34648	-2121	
Run 8	35	73104	-83004	9192	-31820	34648	-2121	
Run 9	40	73847	-83746	9192	-31820	34648	-2121	
Run 10	45	74823	-84722	9192	-31820	34648	-2121	

Tabla 14. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando alfa con gamma=45

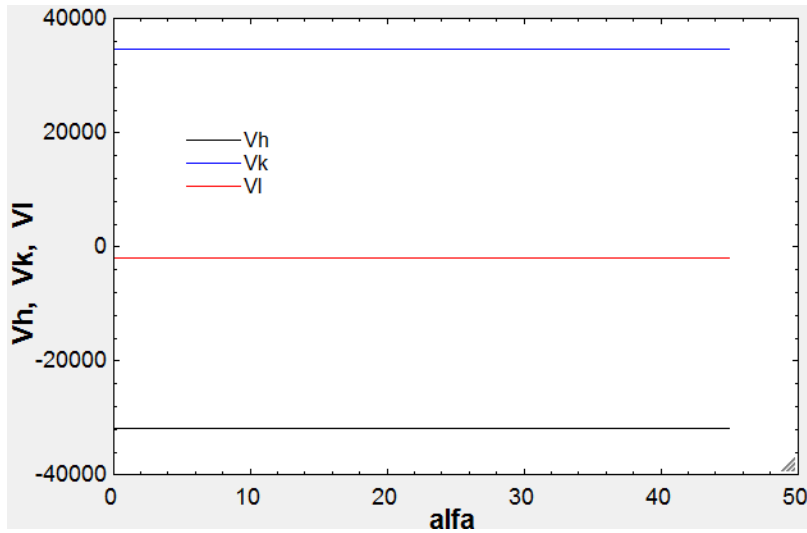


Fig 61. Gráfico de cortantes barra 2 variación de alfa con gamma=45

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=0

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8
	$\gamma$	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI	
Run 1	0	73400	-78400	5000	-45000	49000	-3000	
Run 2	5	74580	-79947	5281	-44829	48814	-2989	
Run 3	10	75689	-81461	5598	-44316	48256	-2954	
Run 4	15	76657	-82868	5953	-43467	47330	-2898	
Run 5	20	77408	-84097	6347	-42286	46045	-2819	
Run 6	25	77869	-85076	6785	-40784	44409	-2719	
Run 7	30	77954	-85728	7274	-38971	42435	-2598	
Run 8	35	77573	-85971	7825	-36862	40138	-2457	
Run 9	40	76615	-85713	8455	-34472	37536	-2298	
Run 10	45	74950	-84849	9192	-31820	34648	-2121	

Tabla 15. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando gamma con alfa=0

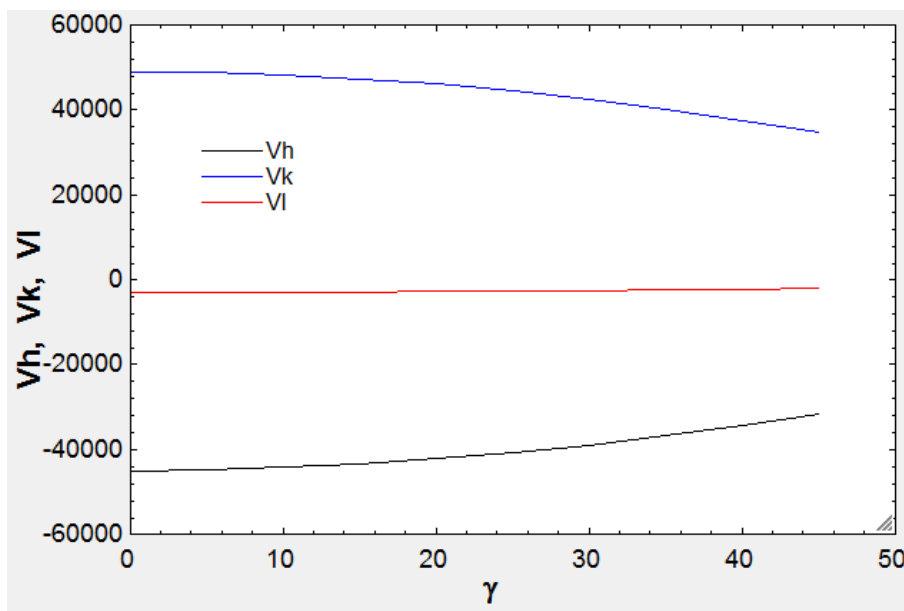


Fig 62. Gráfico de cortantes barra 2 variación de gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=22.5

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8
	$\gamma$	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI	
Run 1	0	64286	-69286	5000	-45000	49000	-3000	
Run 2	5	66241	-71609	5281	-44829	48814	-2989	
Run 3	10	68088	-73860	5598	-44316	48256	-2954	
Run 4	15	69767	-75979	5953	-43467	47330	-2898	
Run 5	20	71216	-77905	6347	-42286	46045	-2819	
Run 6	25	72366	-79574	6785	-40784	44409	-2719	
Run 7	30	73144	-80917	7274	-38971	42435	-2598	
Run 8	35	73463	-81861	7825	-36862	40138	-2457	
Run 9	40	73221	-82319	8455	-34472	37536	-2298	
Run 10	45	72293	-82192	9192	-31820	34648	-2121	

Tabla 16. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando gamma con alfa=22.5

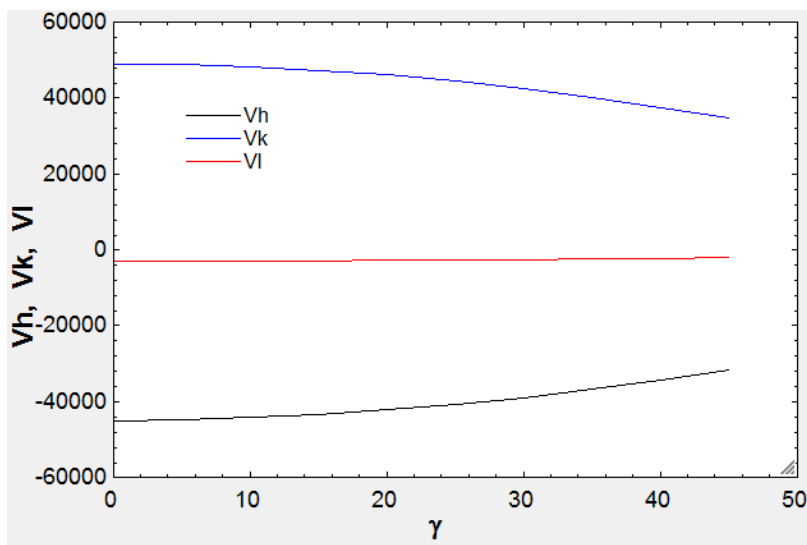


Fig 63. Gráfico de cortantes barra 2 variación de gamma con alfa=22.5

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=45

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8
	$\gamma$	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI	
Run 1	0	60589	-65589	5000	-45000	49000	-3000	
Run 2	5	63210	-68578	5281	-44829	48814	-2989	
Run 3	10	65711	-71483	5598	-44316	48256	-2954	
Run 4	15	68041	-74253	5953	-43467	47330	-2898	
Run 5	20	70145	-76834	6347	-42286	46045	-2819	
Run 6	25	71963	-79170	6785	-40784	44409	-2719	
Run 7	30	73427	-81200	7274	-38971	42435	-2598	
Run 8	35	74459	-82857	7825	-36862	40138	-2457	
Run 9	40	74963	-84062	8455	-34472	37536	-2298	
Run 10	45	74823	-84722	9192	-31820	34648	-2121	

Tabla 17. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando gamma con alfa=45

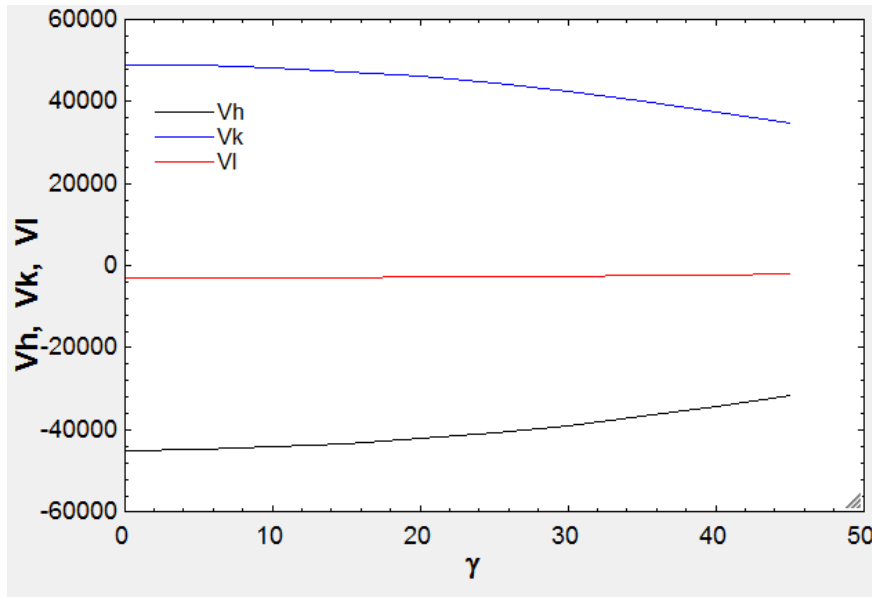


Fig 64. Gráfico de cortantes barra 2 variación de gamma con alfa=45

**BARRA 3**

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=0

	1	2	3	4	5	
	alfa	Nj	Nm	Vj	Vm	
Run 1	0	5000	-5000	500	500	
Run 2	5	5000	-5000	500	500	
Run 3	10	5000	-5000	500	500	
Run 4	15	5000	-5000	500	500	
Run 5	20	5000	-5000	500	500	
Run 6	25	5000	-5000	500	500	
Run 7	30	5000	-5000	500	500	
Run 8	35	5000	-5000	500	500	
Run 9	40	5000	-5000	500	500	
Run 10	45	5000	-5000	500	500	

Tabla 18. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando alfa con gamma=0

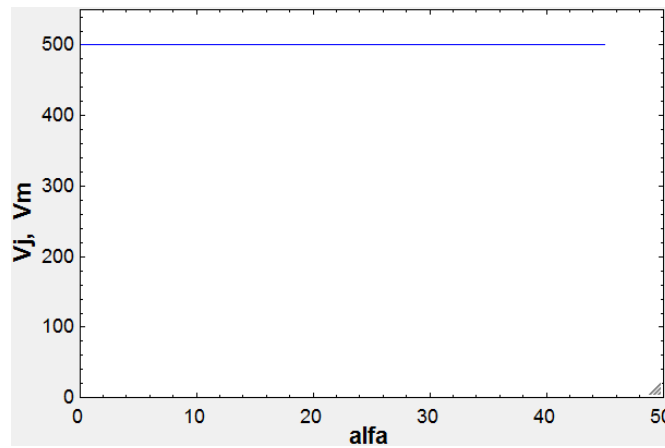


Fig 65. Gráfico de cortantes barra 3 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=22.5

1..10	1 alfa	2 Nj	3 Nm	4 Vj	5 Vm
Run 1	0	5221	-5603	461,9	461,9
Run 2	5	5221	-5603	461,9	461,9
Run 3	10	5221	-5603	461,9	461,9
Run 4	15	5221	-5603	461,9	461,9
Run 5	20	5221	-5603	461,9	461,9
Run 6	25	5221	-5603	461,9	461,9
Run 7	30	5221	-5603	461,9	461,9
Run 8	35	5221	-5603	461,9	461,9
Run 9	40	5221	-5603	461,9	461,9
Run 10	45	5221	-5603	461,9	461,9

Tabla 19. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando alfa con gamma=22.5

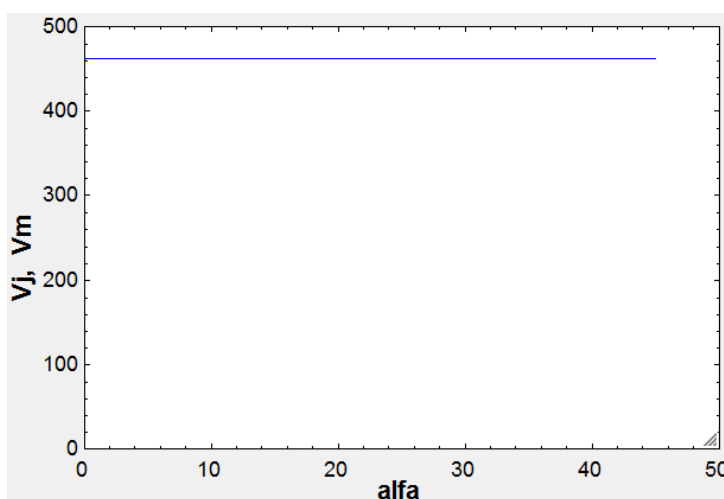


Fig 66. Gráfico de cortantes barra 3 variación de alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=45

1..10	1 alfa	2 Nj	3 Nm	4 Vj	5 Vm
Run 1	0	6718	-7425	353,6	353,6
Run 2	5	6718	-7425	353,6	353,6
Run 3	10	6718	-7425	353,6	353,6
Run 4	15	6718	-7425	353,6	353,6
Run 5	20	6718	-7425	353,6	353,6
Run 6	25	6718	-7425	353,6	353,6
Run 7	30	6718	-7425	353,6	353,6
Run 8	35	6718	-7425	353,6	353,6
Run 9	40	6718	-7425	353,6	353,6
Run 10	45	6718	-7425	353,6	353,6

Tabla 20. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando alfa con gamma=45

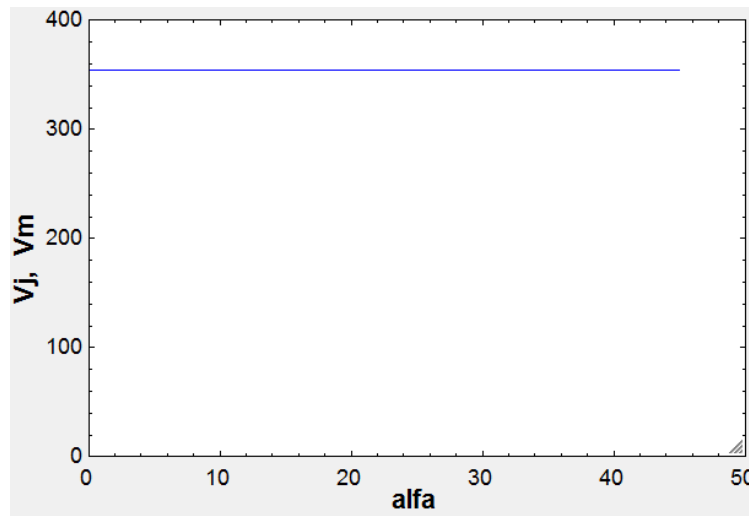


Fig 67. Gráfico de cortantes barra 3 variación de alfa con gamma=45

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=0

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	$N_j$	$N_m$	$V_j$	$V_m$
Run 1	0	5000	-5000	500	500
Run 2	5	4976	-5063	498,1	498,1
Run 3	10	4990	-5164	492,4	492,4
Run 4	15	5047	-5306	483	483
Run 5	20	5150	-5492	469,8	469,8
Run 6	25	5306	-5728	453,2	453,2
Run 7	30	5524	-6024	433	433
Run 8	35	5817	-6391	409,6	409,6
Run 9	40	6206	-6848	383	383
Run 10	45	6718	-7425	353,6	353,6

Tabla 21. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando gamma con alfa=0

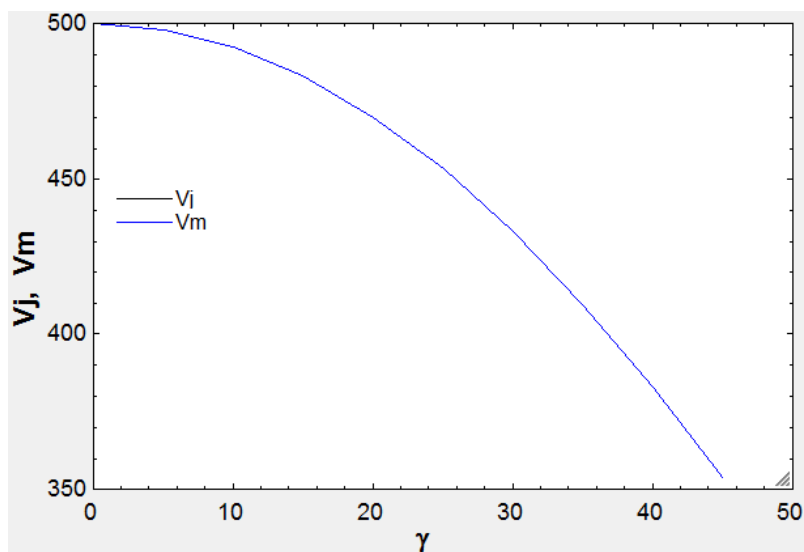


Fig 68. Gráfico de cortantes barra 3 variación de gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=22.5

1..10	γ	Nj	Nm	Vj	Vm
Run 1	0	5000	-5000	500	500
Run 2	5	4976	-5063	498,1	498,1
Run 3	10	4990	-5164	492,4	492,4
Run 4	15	5047	-5306	483	483
Run 5	20	5150	-5492	469,8	469,8
Run 6	25	5306	-5728	453,2	453,2
Run 7	30	5524	-6024	433	433
Run 8	35	5817	-6391	409,6	409,6
Run 9	40	6206	-6848	383	383
Run 10	45	6718	-7425	353,6	353,6

Tabla 22. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando gamma con alfa=22.5

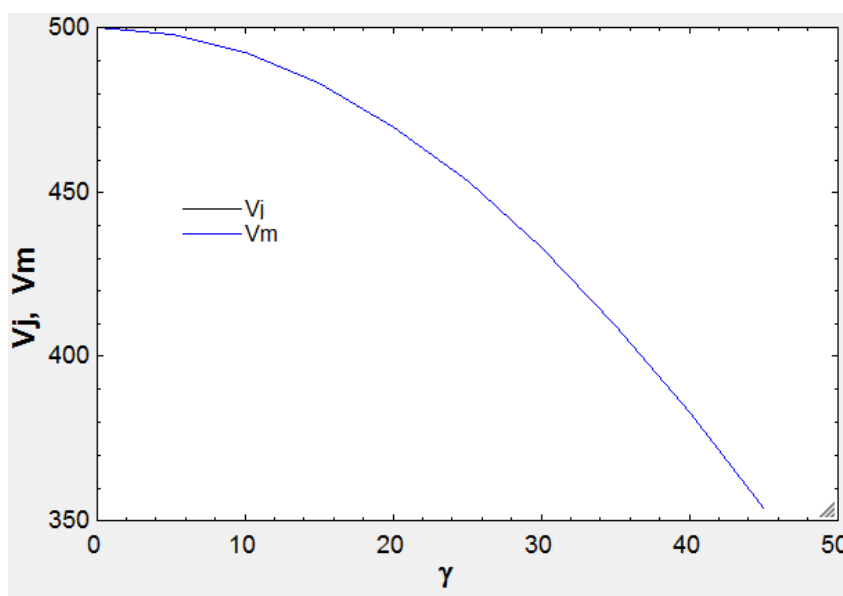


Fig 69. Gráfico de cortantes barra 3 variación de gamma con alfa=22.5

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=45

1..10	γ	Nj	Nm	Vj	Vm
Run 1	0	5000	-5000	500	500
Run 2	5	4976	-5063	498,1	498,1
Run 3	10	4990	-5164	492,4	492,4
Run 4	15	5047	-5306	483	483
Run 5	20	5150	-5492	469,8	469,8
Run 6	25	5306	-5728	453,2	453,2
Run 7	30	5524	-6024	433	433
Run 8	35	5817	-6391	409,6	409,6
Run 9	40	6206	-6848	383	383
Run 10	45	6718	-7425	353,6	353,6

Tabla 23. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando gamma con alfa=45



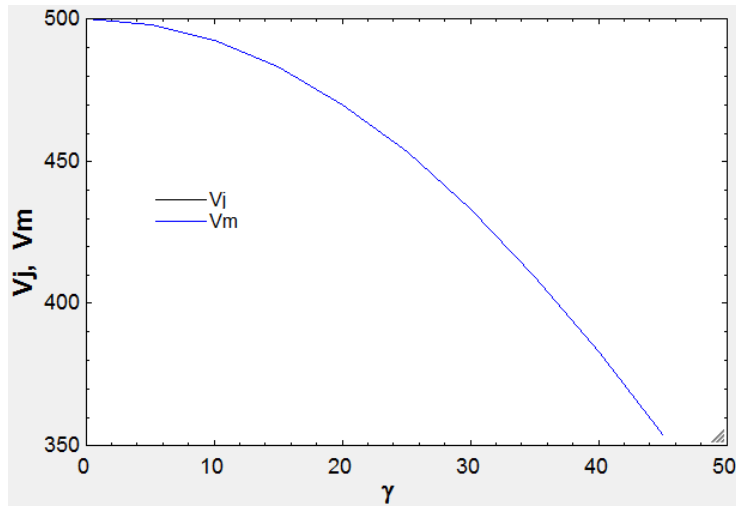


Fig 70. Gráfico de cortantes barra 3 variación de gamma con alfa=45

**BARRA 4**

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=0

	1	2	3	4	5	6
	alfa	Nd	Ni	Vd	Vi	
Run 1	0	135667	-135667	500	500	
Run 2	5	131930	-131843	498,1	498,1	
Run 3	10	129700	-129526	492,4	492,4	
Run 4	15	128935	-128676	483	483	
Run 5	20	129654	-129312	469,8	469,8	
Run 6	25	131944	-131521	453,2	453,2	
Run 7	30	135969	-135469	433	433	
Run 8	35	142003	-141430	409,6	409,6	
Run 9	40	150471	-149828	383	383	
Run 10	45	162020	-161313	353,6	353,6	

Fig 71. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando alfa con gamma=0

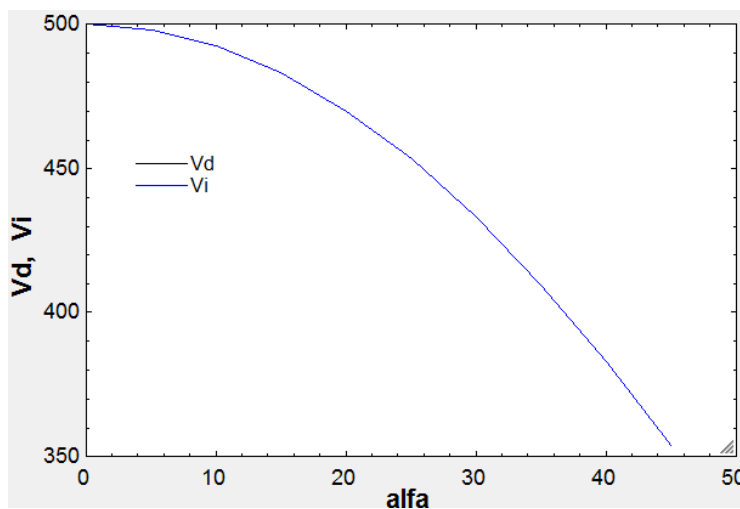


Fig 72. Gráfico de cortantes barra 4 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=22.5

1..10	1	2	3	4	5
	alfa	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	106428	-106428	500	500
Run 2	5	104078	-103991	498,1	498,1
Run 3	10	102973	-102799	492,4	492,4
Run 4	15	103090	-102831	483	483
Run 5	20	104461	-104119	469,8	469,8
Run 6	25	107178	-106755	453,2	453,2
Run 7	30	111404	-110904	433	433
Run 8	35	117403	-116829	409,6	409,6
Run 9	40	125573	-124931	383	383
Run 10	45	136524	-135817	353,6	353,6

Tabla 24. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando alfa con gamma=22.5

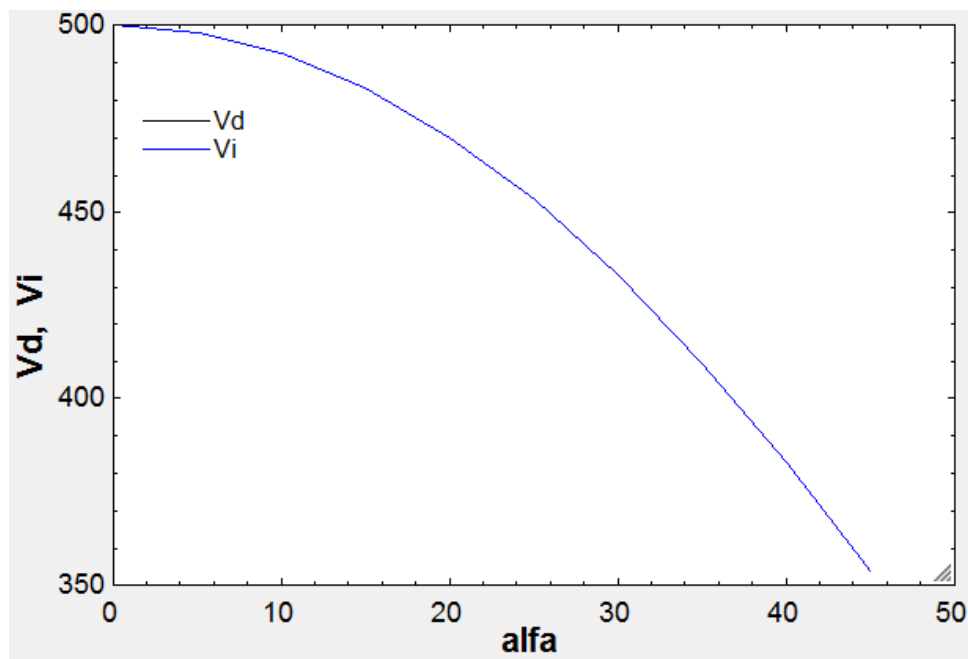


Fig 73. Gráfico de cortantes barra 4 variación de alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=45

	1	2	3	4	5
1..10	alfa	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	64162	-64162	500	500
Run 2	5	63157	-63070	498,1	498,1
Run 3	10	62981	-62808	492,4	492,4
Run 4	15	63633	-63374	483	483
Run 5	20	65147	-64805	469,8	469,8
Run 6	25	67604	-67181	453,2	453,2
Run 7	30	71138	-70638	433	433
Run 8	35	75960	-75386	409,6	409,6
Run 9	40	82383	-81740	383	383
Run 10	45	90881	-90174	353,6	353,6

Tabla 25. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando alfa con gamma=45

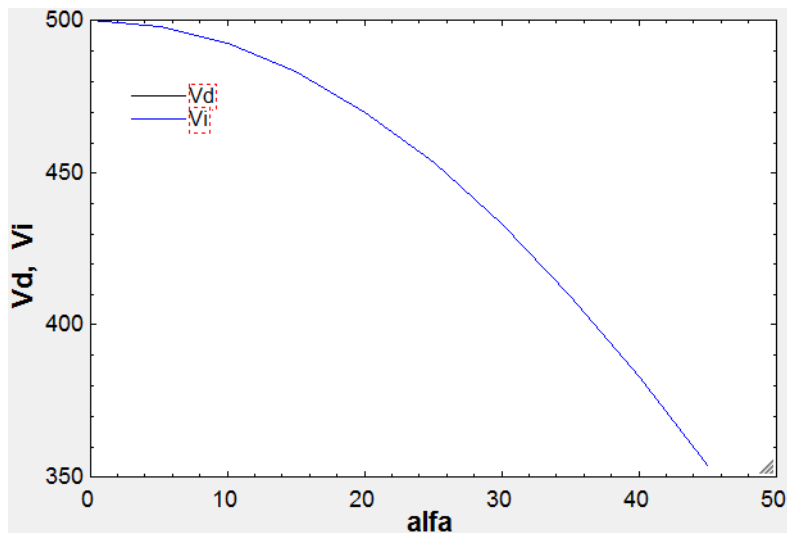


Fig 74. Gráfico de cortantes barra 4 variación de alfa con gamma=45

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=0

	1	2	3	4	5
1..10	$\gamma$	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	135667	-135667	500	500
Run 2	5	130648	-130648	500	500
Run 3	10	124740	-124740	500	500
Run 4	15	117991	-117991	500	500
Run 5	20	110462	-110462	500	500
Run 6	25	102228	-102228	500	500
Run 7	30	93375	-93375	500	500
Run 8	35	84001	-84001	500	500
Run 9	40	74221	-74221	500	500
Run 10	45	64162	-64162	500	500

Tabla 26. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando gamma con alfa=0

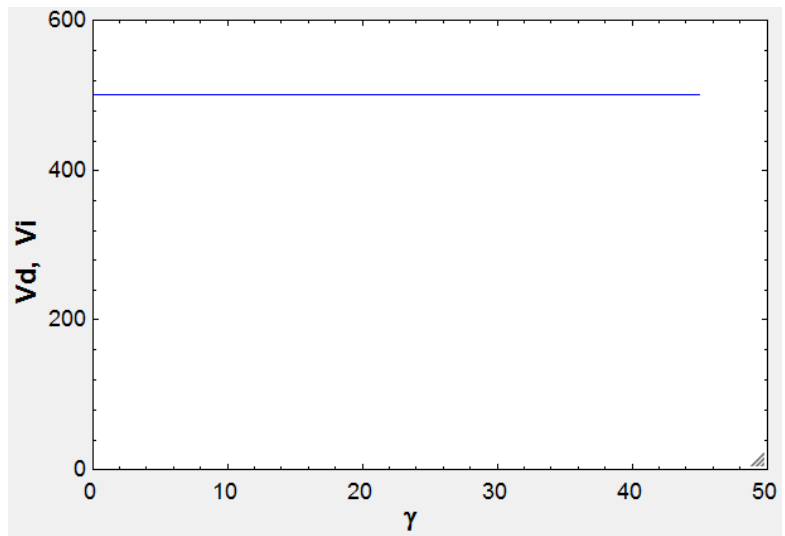


Fig 75. Gráfico de cortantes barra 4 variación de gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=22.5

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	130595	-130212	461,9	461,9
Run 2	5	126618	-126235	461,9	461,9
Run 3	10	121704	-121322	461,9	461,9
Run 4	15	115899	-115516	461,9	461,9
Run 5	20	109257	-108874	461,9	461,9
Run 6	25	101846	-101464	461,9	461,9
Run 7	30	93744	-93361	461,9	461,9
Run 8	35	85040	-84657	461,9	461,9
Run 9	40	75837	-75454	461,9	461,9
Run 10	45	66251	-65868	461,9	461,9

Tabla 27. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando gamma con alfa=22.5

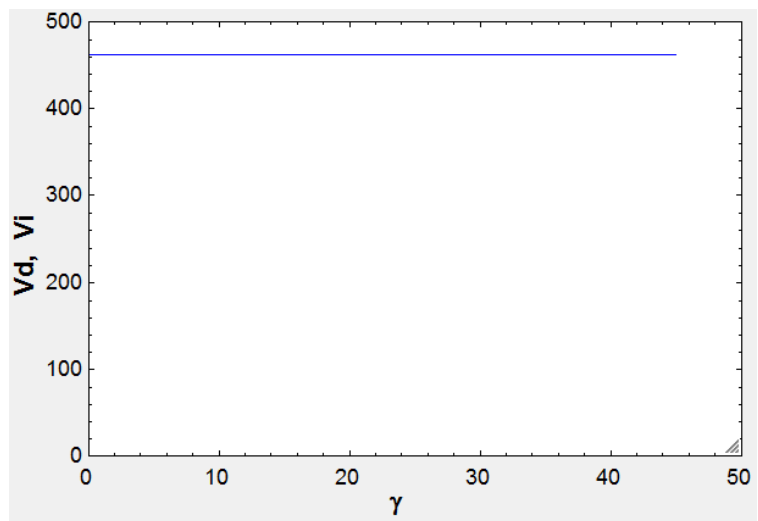


Fig 76. Gráfico de cortantes barra 4 variación de gamma con alfa=22.5

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=45

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	162020	-161313	353,6	353,6
Run 2	5	158422	-157715	353,6	353,6
Run 3	10	153602	-152894	353,6	353,6
Run 4	15	147603	-146896	353,6	353,6
Run 5	20	140483	-139776	353,6	353,6
Run 6	25	132310	-131603	353,6	353,6
Run 7	30	123164	-122456	353,6	353,6
Run 8	35	113137	-112429	353,6	353,6
Run 9	40	102335	-101628	353,6	353,6
Run 10	45	90881	-90174	353,6	353,6

Tabla 28. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando gamma con alfa=45.

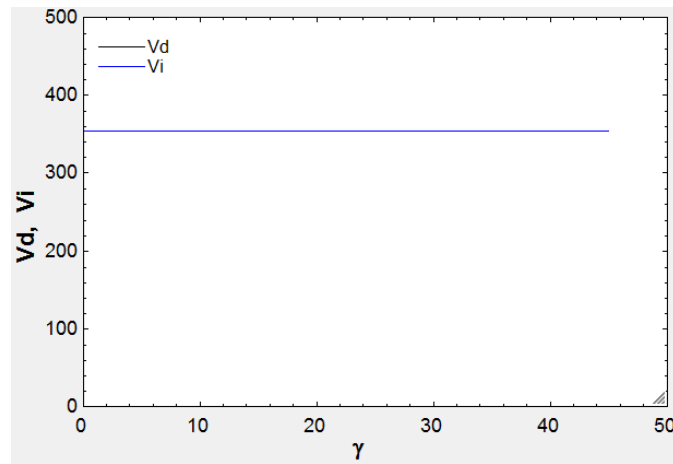


Fig 77. Gráfico de cortantes barra 4 variación de gamma con alfa=45

**BARRA 5**

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=0

1..10	1	2	3	4	5
	alfa	ResultanteG	ResultanteH	ResultanteI	ResultanteJ
Run 1	0	77218	94590	152001	5025
Run 2	5	84544	93296	150071	5025
Run 3	10	93065	92122	149492	5025
Run 4	15	102617	91071	150291	5025
Run 5	20	113197	90142	152550	5025
Run 6	25	124927	89334	156419	5025
Run 7	30	138052	88647	162131	5025
Run 8	35	152952	88077	170039	5025
Run 9	40	170188	87622	180662	5025
Run 10	45	190579	87282	194777	5025

Tabla 29. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=22.5

1..10	1 alfa	2 ResultanteG	3 ResultanteH	4 ResultanteI	5 ResultanteJ
Run 1	0	92337	101428	129273	5241
Run 2	5	100734	100317	127839	5241
Run 3	10	109537	99356	127622	5241
Run 4	15	118852	98544	128649	5241
Run 5	20	128845	97877	130997	5241
Run 6	25	139742	97354	134805	5241
Run 7	30	151843	96969	140290	5241
Run 8	35	165548	96722	147781	5241
Run 9	40	181410	96609	157758	5241
Run 10	45	200210	96626	170945	5241

Tabla 30. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=45

1..10	1 alfa	2 ResultanteG	3 ResultanteH	4 ResultanteI	5 ResultanteJ
Run 1	0	100559	100060	87635	6727
Run 2	5	106846	99191	86841	6727
Run 3	10	113346	98513	86946	6727
Run 4	15	120209	98022	87971	6727
Run 5	20	127607	97713	89979	6727
Run 6	25	135743	97581	93079	6727
Run 7	30	144868	97624	97440	6727
Run 8	35	155305	97838	103318	6727
Run 9	40	167488	98220	111088	6727
Run 10	45	182029	98768	121307	6727

Tabla 31. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando alfa con gamma=45

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=0

1..10	1 $\gamma$	2 ResultanteG	3 ResultanteH	4 ResultanteI	5 ResultanteJ
Run 1	0	77218	94590	152001	5025
Run 2	5	80735	96583	148862	5000
Run 3	10	84241	98338	144597	5015
Run 4	15	87641	99817	139242	5070
Run 5	20	90841	100979	132844	5171
Run 6	25	93750	101779	125463	5325
Run 7	30	96276	102162	117167	5540
Run 8	35	98324	102064	108034	5831
Run 9	40	99790	101400	98155	6217
Run 10	45	100559	100060	87635	6727

Tabla 32. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=22.5

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	ResultanteG	ResultanteH	ResultanteI	ResultanteJ
Run 1	0	118906	89723	154271	5025
Run 2	5	123630	91941	151450	5000
Run 3	10	127632	93919	147471	5015
Run 4	15	130863	95626	142368	5070
Run 5	20	133277	97026	136186	5171
Run 6	25	134831	98077	128980	5325
Run 7	30	135483	98732	120815	5540
Run 8	35	135189	98931	111767	5831
Run 9	40	133904	98597	101923	6217
Run 10	45	131569	97625	91383	6727

Tabla 33. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando gamma con alfa=22.5

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=45

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	ResultanteG	ResultanteH	ResultanteI	ResultanteJ
Run 1	0	190579	87282	194777	5025
Run 2	5	195030	89801	191999	5000
Run 3	10	198186	92091	187748	5015
Run 4	15	200014	94124	182060	5070
Run 5	20	200488	95871	174985	5171
Run 6	25	199587	97297	166581	5325
Run 7	30	197300	98360	156920	5540
Run 8	35	193617	99009	146088	5831
Run 9	40	188530	99176	134180	6217
Run 10	45	182029	98768	121307	6727

Tabla 34. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando gamma con alfa=45

### ANEXO 3.1.2. CORTANTES MÁXIMOS

Observando las gráficas se ha buscado la posición en la que encontramos las mayores cargas en los nudos de cada una de las barras y posteriormente se ha seleccionado el valor máximo de los cortantes.

#### BARRA 1

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	gamma=0	Vf	45°	-81027
alfa	gamma=22,5°	Vf	35°	-89947
alfa	gamma=45°	Vf	20°	-89155
gamma	alfa=0	Vf	45°	-84497
gamma	alfa=22,5°	Vf	40°	-90350
gamma	alfa=45°	Vf	25°	-89584

Tabla 35. Tabla de cortantes máximos de la barra 1

Estos son los valores máximos de cortante en cada una de las posiciones, para dimensionar la barra 1 se seleccionó  $\alpha=22,5$  y  $\gamma=40^\circ$  que es donde se encuentra el mayor de todos los máximos.

### **BARRA 2**

Variación de 0 a $45^\circ$	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	$\gamma=0$	Vk	no varía	49000
alfa	$\gamma=22,5^\circ$	Vk	no varía	45270
alfa	$\gamma=45^\circ$	Vk	no varía	34648
gamma	$\alpha=0$	Vk	0	49000
gamma	$\alpha=22,5^\circ$	Vk	0	49000
gamma	$\alpha=45^\circ$	Vk	0	49000

Tabla 36. Tabla de cortantes máximos para la barra 2

Como en la barra 2 tenemos varios valores que coinciden se escogió la posición en donde encontramos el mayor axil entre estos máximos (-78400 N).

### **BARRA 3**

Variación de 0 a $45^\circ$	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	$\gamma=0$	Vj=Vm	no varía	500
alfa	$\gamma=22,5^\circ$	Vj=Vm	no varía	461,9
alfa	$\gamma=45^\circ$	Vj=Vm	no varía	353,6
gamma	$\alpha=0$	Vj=Vm	0	500
gamma	$\alpha=22,5^\circ$	Vj=Vm	0	500
gamma	$\alpha=45^\circ$	Vj=Vm	0	500

Tabla 37. Tabla de cortantes máximos para la barra 3

Como en la barra anterior nos encontramos valores máximos que coinciden, de entre estos se seleccionó el que sufría mayor axil (-5000N).

### **BARRA 4**

Variación de 0 a $45^\circ$	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	$\gamma=0$	Vi=Vd	0	500
alfa	$\gamma=22,5^\circ$	Vi=Vd	0	500
alfa	$\gamma=45^\circ$	Vi=Vd	0	500
gamma	$\alpha=0$	Vi=Vd	no varía	500
gamma	$\alpha=22,5^\circ$	Vi=Vd	no varía	461,9
gamma	$\alpha=45^\circ$	Vi=Vd	no varía	353,6

Tabla 38. Tabla de cortantes máximos para la barra 4

En la barra 4, al igual que en la 3, se eligió la posición donde existía mayor axil dentro de los cortantes máximos.



**BARRA 5**

Variación de 0 a 45º	Valor fijo	Nudo más solicitado	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	gamma=0	I	45	194777
alfa	gamma=22,5º	G	45	200210
alfa	gamma=45º	G	45	182029
gamma	alfa=0	I	0	152001
gamma	alfa=22,5º	I	0	154271
gamma	alfa=45º	G	20	200488

Tabla 39. Tabla de las cargas resultantes de la barra 5

La barra 5 ha sido dimensionada deferente al resto, en esta se ha tenido en cuenta la resultante en cada uno de los nudos y dimensionada mediante el cálculo a aplastamiento con el valor máximo para hallar el grosor de sus paredes.

**ANEXO 3.1.3. DIAGRAMAS DE ESFUERZOS**

Una vez obtenidas las secciones críticas de cada barra se han calculado los diagramas para obtener los esfuerzos máximos y dimensionar respecto a estos.

**BARRA 1**

-Flector

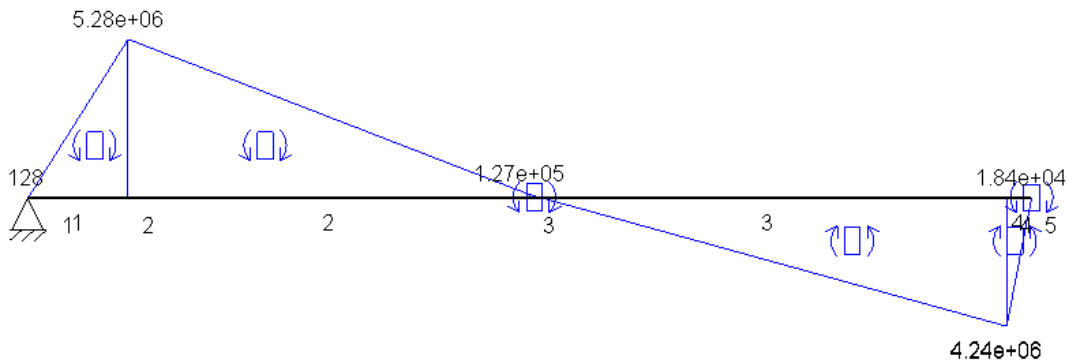


Fig 78. Esfuerzos flectores en la barra 1

-Axil

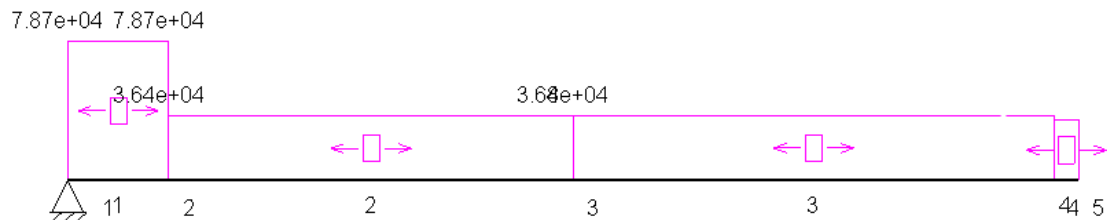


Fig 79. Esfuerzos axiales en la barra 1

**BARRA 2**

-Flector

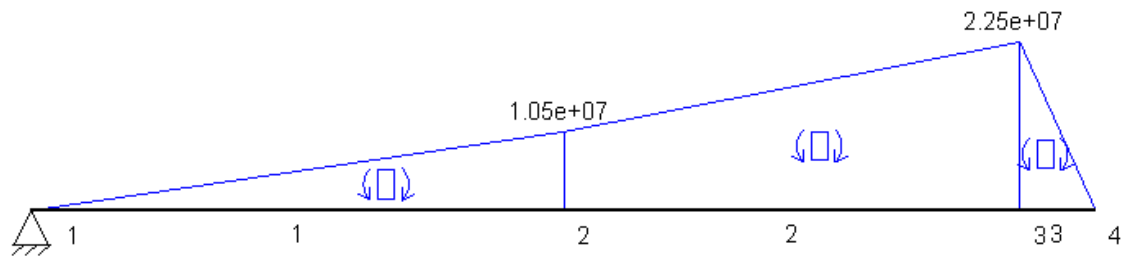


Fig 80. Esfuerzos flectores en la barra 2

-Axil

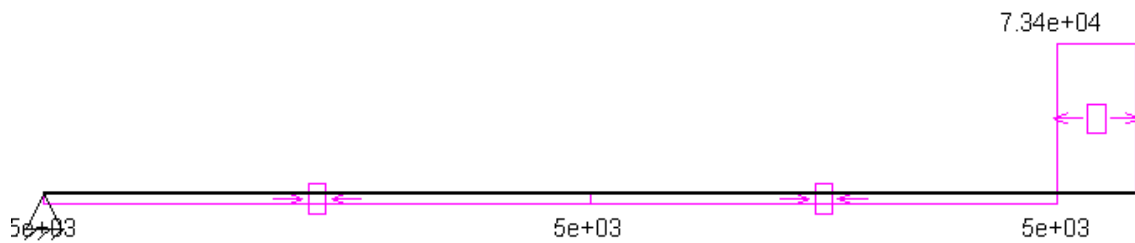


Fig 81. Esfuerzos axiales en la barra 2

**BARRA 3**

-Flector

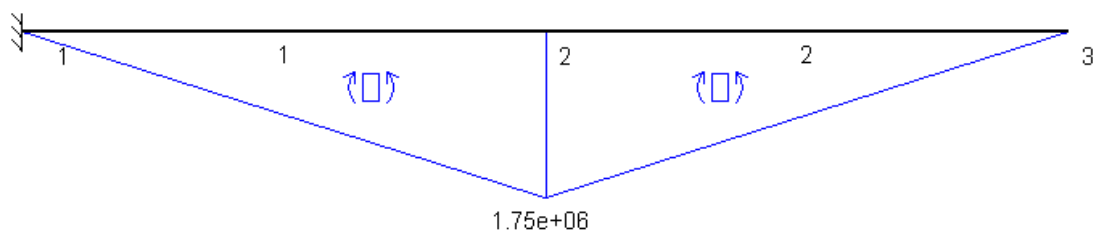


Fig 82. Esfuerzos flectores en la barra 3

-Axil

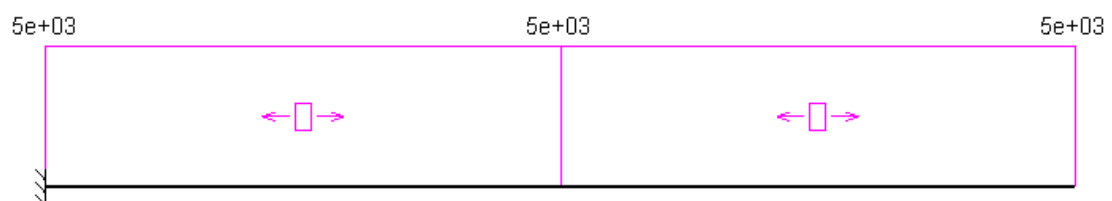


Fig 83. Esfuerzos axiales en la barra 3

**BARRA 4**

-Flector

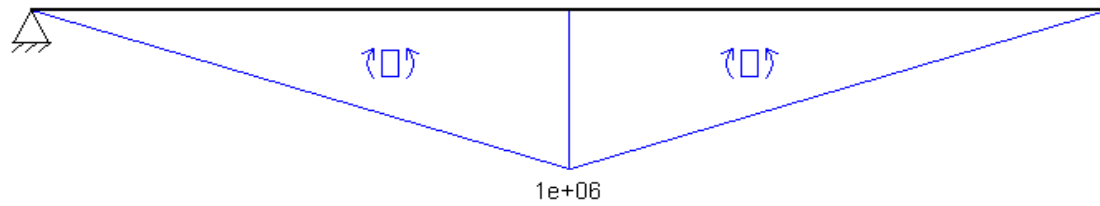


Fig 84. Esfuerzos flectores en la barra 4

-Axil

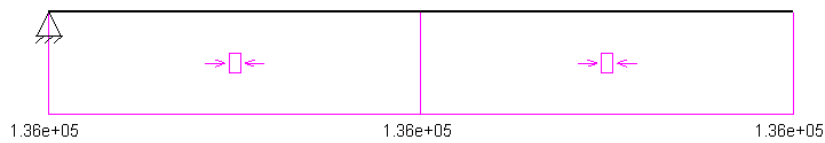


Fig 85. Esfuerzos axiales en la barra 4

ANEXO 3.1.4.DIMENSIONADO DE LAS BARRAS

**BARRA 1**

Mf,máx	5,28E+06	5,28E+06	5,28E+06
Wf=Mf/σ [mm <sup>3</sup> ]	4,17E+04	4,17E+04	4,17E+04
Wf [cm <sup>3</sup> ]	41,69	41,69	41,69
Perfil elegido	100x80x6	100x80x8	140x70x7
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	45,5	52,5	56,1
Wf elegido [mm <sup>3</sup> ]	45500	52500	56100
Área [cm <sup>2</sup> ]	19,2	24	25,8
Área [m <sup>2</sup> ]	0,00192	0,0024	0,00258
Área [mm <sup>2</sup> ]	1920	2400	2580
Longitud [m]	4	4	4
Volumen [m <sup>3</sup> ]	0,00768	0,0096	0,01032
Peso [kg]	59,904	74,88	80,496
Axil [N]	7,87E+04	7,87E+04	7,87E+04
σ=N/A+Mf/Wf	157,07	133,39	124,65
	σ>σadm NO CUMPLE	σ>σadm NO CUMPLE	σ<σadm CUMPLE

Tabla 40. Tabla de selección de perfil de la barra 1

En esta tabla se muestra el perfil elegido y otros datos de interés como el peso propio de la barra.

**BARRA 2**

Mf,máx	2,25E+07	2,25E+07	2,25E+07	2,25E+07
Wf=Mf/σ [mm <sup>3</sup> ]	1,78E+05	1,78E+05	1,78E+05	1,78E+05
Wf [cm <sup>3</sup> ]	177,63	177,63	177,63	177,63
Perfil elegido	160x120x12	180x120x10	180x140x8	160x140x10
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	181	190	201	212
Wf elegido [mm <sup>3</sup> ]	181000	190000	201000	212000
Área [cm <sup>2</sup> ]	55,3	52,6	46,4	52,6
Área [m <sup>2</sup> ]	0,00553	0,00526	0,00464	0,00526
Área [mm <sup>2</sup> ]	5530	5260	4640	5260
Longitud [m]	7	7	7	7
Volumen [m <sup>3</sup> ]	0,03871	0,03682	0,03248	0,03682
Peso [kg]	301,938	287,196	253,344	287,196
Axil [N]	7,34E+04	7,34E+04	7,34E+04	7,34E+04
σ=N/A+Mf/Wf	137,58	132,38	127,76	120,09
	σ>σadm NO CUMPLE	σ>σadm NO CUMPLE	σ>σadm NO CUMPLE	σ<σadm CUMPLE

Tabla 41. Tabla de selección de perfil de la barra 2

**BARRA 3**

Mf,máx	1,75E+06
Wf=Mf/σ [mm <sup>3</sup> ]	13.815,79
Wf [cm <sup>3</sup> ]	13,815789
Perfil elegido	25x25 (macizo)
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	2,6
Wf elegido [mm <sup>3</sup> ]	2604,16
Área [cm <sup>2</sup> ]	6,25
Área [m <sup>2</sup> ]	0,000625
Área [mm <sup>2</sup> ]	625
Longitud [m]	7
Volumen [m <sup>3</sup> ]	0,004375
Peso [kg]	34,125
Axil [N]	5,00E+03
σ=N/A+Mf/Wf	117,69
	σ<σadm CUMPLE

Tabla 42. Tabla de selección de perfil de la barra 3

Para barra 3, a diferencia de las barras 1 y 2, se ha elegido un perfil macizo ya que esta solo actúa como guía para mantener la cesta vertical

**BARRA 4**

Mf,máx	1,00E+06
Wf=Mf/σ [mm <sup>3</sup> ]	7,89E+03
Wf [cm <sup>3</sup> ]	7,89
Perfil elegido	25X25 (macizo)
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	2,6
Wf elegido [mm <sup>3</sup> ]	2604,16
Área [cm <sup>2</sup> ]	6,25
Área [m <sup>2</sup> ]	0,000625
Área [mm <sup>2</sup> ]	625
Longitud [m]	4
Volumen [m <sup>3</sup> ]	0,0025
Peso [kg]	19,5
Axil [N]	1,36E+05
σ=N/A+Mf/Wf	125,35
	σ<σadm CUMPLE

Tabla 43. Tabla de selección de perfil de la barra 4

La barra 4, al igual que la 3, será maciza porque esta solo actúa como guía del conjunto.

**BARRA 5**

Para dimensionar la barra 5 se ha hecho el cálculo por aplastamiento para obtener el grosor de sus paredes que, junto a la anchura de las barras elegidas, obtendremos la anchura total de esta barra y su peso propio.

Cálculo a cortadura:

Con este cálculo se ha obtenido el diámetro del pasador:

$$A_{cortadura} = \frac{\pi * d^2}{4} ; \quad \tau_{máx,adm} = \frac{\sigma_F}{2 * C_S} = \frac{380}{6} = 63.333 \text{ MPa}$$

$$\tau_{máx} = \frac{F/4}{A_c} = \frac{200488/4}{A_c} = 63.333 \rightarrow A_c = 791.40 \text{ mm}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * A_c}{\pi}} = 31.74 \approx 32 \text{ mm}$$

Cálculo a aplastamiento:

$$A_{aplastamiento} = d * e; \quad \tau_{máx,adm} = \frac{\sigma_F}{2 * C_S} = \frac{380}{6} = 63.333 \text{ MPa}; \quad \tau_{máx} = \frac{\sigma}{2}$$

$$\tau_{máx,adm} = 63,333 = \frac{200488/4}{2 * A_a} = \frac{200488/4}{2 * 32 * e} \rightarrow e = 12.36 \approx 13 \text{ mm}$$

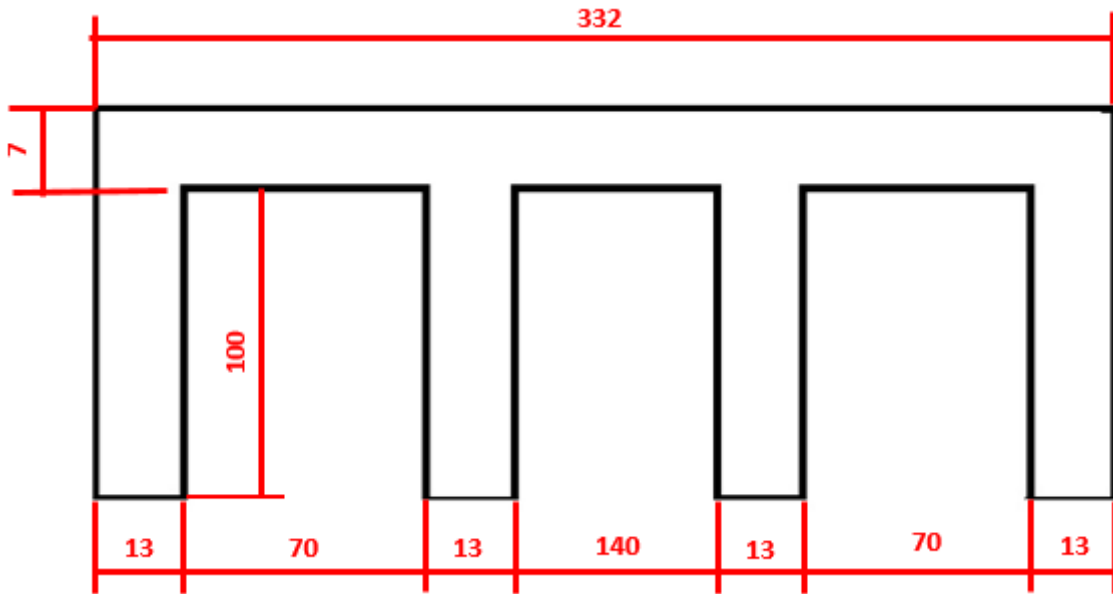


Fig 86. Dimensiones barra 5 primera iteración

$$\text{Área} = 7524 \text{ mm}^2$$

$$\text{Volumen} = \text{Área} * \text{Altura} = 3 * 10^6 \text{ mm}^3 = 0.003 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso} = \text{Volumen} * \text{densidad} = 23.47 \approx 25 \text{ Kg}$$

Una vez obtenidas todos los perfiles y sus pesos se procedió a la siguiente iteración para comprobar si estos perfiles con las nuevas masas cumplen el coeficiente de seguridad.

### ANEXO 3.2 VALORES DE LOS PARÁMETROS SEGUNDA ITERACIÓN

En esta segunda iteración se ha utilizado los perfiles elegidos en la iteración anterior para comprobar si la estructura soporta las cargas debida a las nuevas masas, de no ser así se procederá a la siguiente iteración.

Se ha decidido acortar la longitud de las barras 2 y 3 de 7 metros a 6,5 ya que de esta manera seguimos alcanzando los 8 metros de altura reduciendo material y peso.

Los nuevos valores aplicados a los parámetros de la estructura han sido:

Parámetro	longb1y4	longb2y3	longb5	d1cil1	d2cil1	d1cil2
Valor [mm]	4000	6500	400	200	400	50

Parámetro	d2cil2	Horejeta	Hcesta	Acesta	dHJ	dGI
Valor [mm]	500	500	1000	600	150.7	275.7

Parámetro	m1	m2	m3	m4	m5
Valor [Kg]	80.5	267	32	20	25

Tabla 44. Valores de la segunda iteración

El proceso a seguir ha sido el mismo que en la iteración anterior.

ANEXO 3.2.1. REACCIONES EN LOS NUDOS SEGÚN LA POSICION

Aquí se han obtenido, en ejes locales, las reacciones de los distintos nudos de cada barra.

**BARRA 1**

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=0

1.10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	alfa	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg	
Run 1	0	-199355	111866	93745	-6256	-49288	55933	-51935	46095	
Run 2	5	-200455	114637	87297	-1409	-48096	54716	-59771	53953	
Run 3	10	-202160	117232	80346	4722	-46570	53114	-66903	61152	
Run 4	15	-204416	119575	72967	12082	-44715	51133	-73318	67677	
Run 5	20	-207192	121586	65227	20655	-42540	48784	-79009	73521	
Run 6	25	-210489	123174	57190	30465	-40057	46080	-83972	78679	
Run 7	30	-214336	124232	48917	41589	-37280	43035	-88212	83154	
Run 8	35	-218811	124630	40464	54179	-34225	39669	-91734	86951	
Run 9	40	-224052	124203	31883	68484	-30911	36002	-94549	90075	
Run 10	45	-230287	122730	23221	84905	-27359	32058	-96668	92538	

Tabla 45. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando alfa con gamma=0

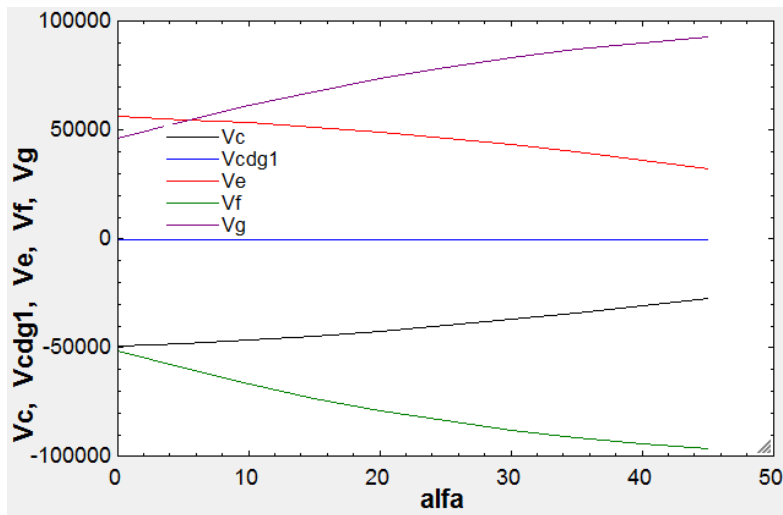


Fig 87. Gráfico de cortantes barra 1 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa con gamma gamma=22,5

1.10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	alfa	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg	
Run 1	0	-178029	103661	79234	-4867	-45186	51831	-84755	78915	
Run 2	5	-179510	106527	70394	2660	-44225	50845	-90738	84921	
Run 3	10	-181529	109225	61268	11176	-42942	49486	-95923	90172	
Run 4	15	-184032	111683	51918	20639	-41340	47758	-100318	94677	
Run 5	20	-186988	113822	42399	31043	-39425	45669	-103931	98443	
Run 6	25	-190395	115555	32762	42419	-37207	43229	-106775	101483	
Run 7	30	-194280	116779	23055	54848	-34699	40454	-108865	103807	
Run 8	35	-198711	117373	13322	68478	-31916	37359	-110213	105429	
Run 9	40	-203814	117180	3603	83548	-28876	33966	-110835	106361	
Run 10	45	-209800	115994	-6063	100439	-25599	30298	-110745	106616	

Tabla 46. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando alfa con gamma=22.5

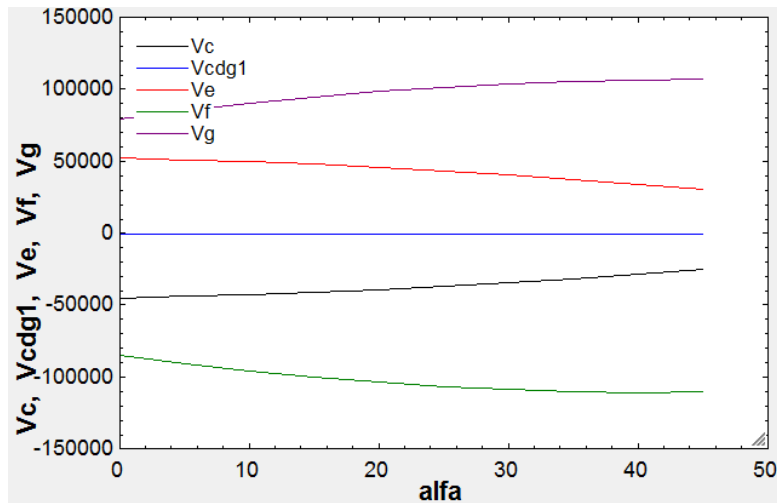


Tabla 47. Gráfico de cortantes barra 1 variación de alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa con gamma gamma=45

Run	alfa	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg
Run 1	0	-149048	98698	52673	-2323	-42704	49349	-104608	98768
Run 2	5	-151329	101993	42727	6678	-42061	48681	-108052	102235
Run 3	10	-153980	105137	32710	16273	-41090	47634	-110741	104989
Run 4	15	-156954	108066	22657	26439	-39793	46212	-112691	107050
Run 5	20	-160221	110710	12602	37184	-38176	44420	-113921	108433
Run 6	25	-163770	112992	2574	48544	-36248	42271	-114446	109153
Run 7	30	-167616	114825	-7398	60591	-34022	39777	-114280	109222
Run 8	35	-171807	116107	-17288	73450	-31513	36956	-113436	108652
Run 9	40	-176433	116710	-27072	87312	-28739	33830	-111925	107451
Run 10	45	-181654	116468	-36724	102479	-25723	30422	-109755	105625

Tabla 48. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando alfa con gamma=45

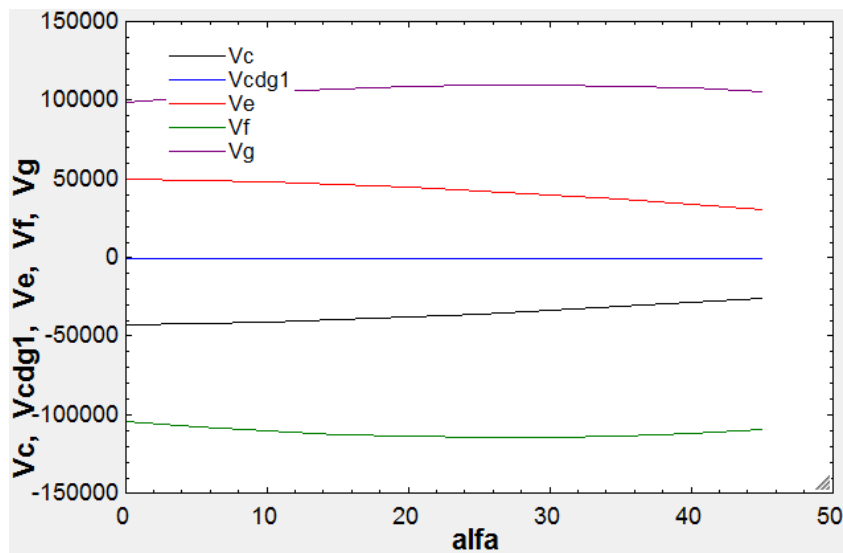


Fig 88. Gráfico de cortantes barra 1 variación de alfa con gamma=45



-Variación de gamma con alfa=0

1.10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$\gamma$	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg	
Run 1	0	-199355	111866	93745	-6256	-49288	55933	-51935	46095	
Run 2	5	-195535	109860	91739	-6064	-48285	54930	-59961	54121	
Run 3	10	-191154	107942	89015	-5803	-47326	53971	-67631	61791	
Run 4	15	-186253	106132	85596	-5476	-46421	53066	-74870	69030	
Run 5	20	-180877	104449	81513	-5085	-45580	52225	-81603	75763	
Run 6	25	-175082	102913	76803	-4634	-44811	51456	-87749	81909	
Run 7	30	-168928	101545	71510	-4127	-44127	50772	-93221	87381	
Run 8	35	-162483	100368	65684	-3569	-43539	50184	-97927	92087	
Run 9	40	-155826	99409	59383	-2966	-43060	49705	-101763	95923	
Run 10	45	-149048	98698	52673	-2323	-42704	49349	-104608	98768	

Tabla 49. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando gamma con alfa=0

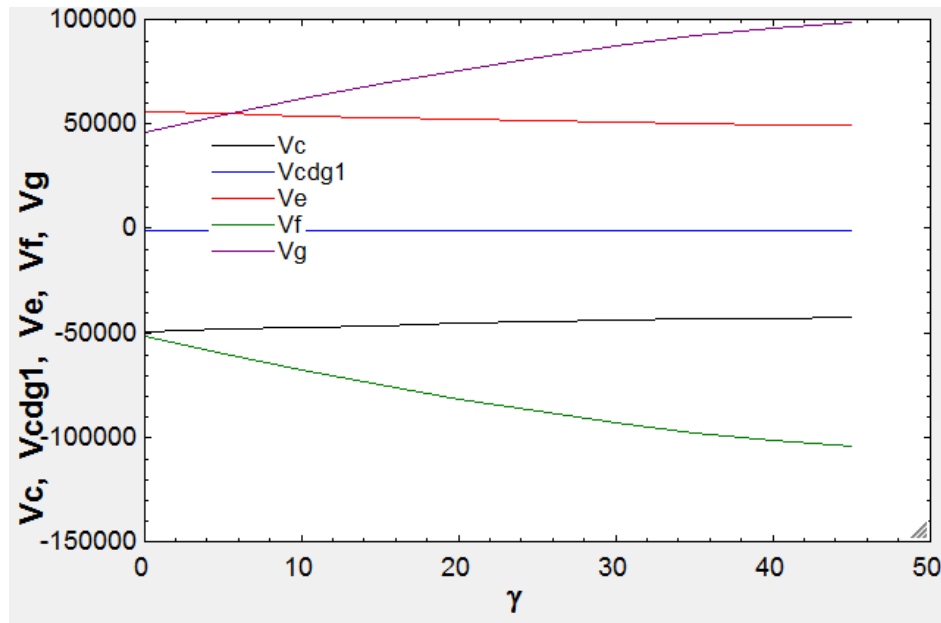


Fig 89. Gráfico de cortantes barra 1 variación de gama con alfa=0

-Variación de gamma con alfa=22.5

1.10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$\gamma$	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg	
Run 1	0	-208774	122439	61242	25402	-41336	47476	-81581	76186	
Run 2	5	-205106	120400	56820	28194	-40546	46685	-87906	82511	
Run 3	10	-200942	118534	51881	30835	-39822	45961	-93695	88300	
Run 4	15	-196322	116859	46472	33299	-39173	45312	-98891	93496	
Run 5	20	-191290	115393	40645	35560	-38604	44744	-103437	98042	
Run 6	25	-185896	114156	34458	37590	-38125	44264	-107275	101880	
Run 7	30	-180197	113167	27978	39360	-37741	43880	-110345	104949	
Run 8	35	-174258	112445	21281	40840	-37461	43600	-112583	107187	
Run 9	40	-168151	112015	14450	41994	-37294	43433	-113919	108523	
Run 10	45	-161960	111901	7583	42783	-37250	43389	-114270	108875	

Tabla 50. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando gamma con alfa=22.5

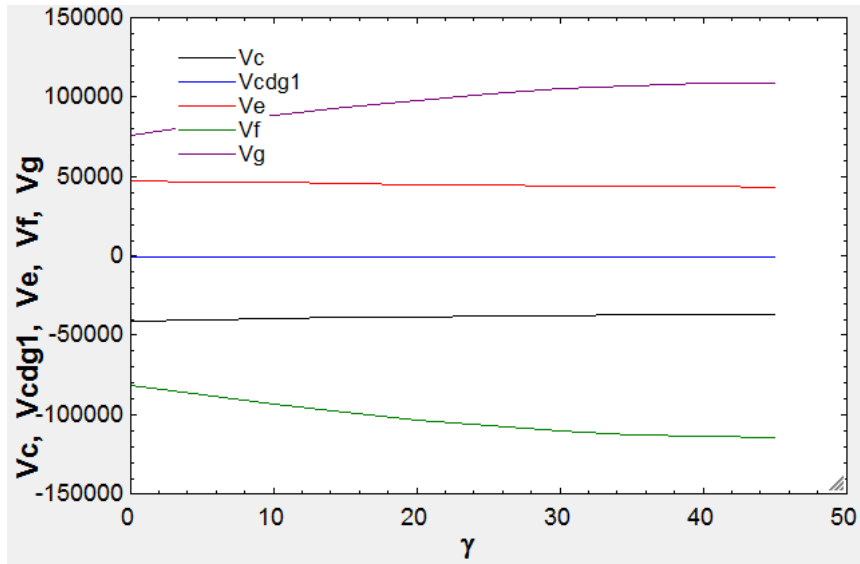


Tabla 51. Gráfico de cortantes barra 1 variación de gama con alfa=22.5

-Variación de gamma con alfa=45

Run	$\gamma$	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg
Run 1	0	-230287	122730	23221	84905	-27359	32058	-96668	92538
Run 2	5	-226635	120682	17167	89355	-26824	31523	-100947	96818
Run 3	10	-222434	118935	10803	93266	-26368	31066	-104598	100469
Run 4	15	-217724	117506	4188	96599	-25994	30693	-107585	103455
Run 5	20	-212548	116411	-2614	99320	-25708	30407	-109873	105743
Run 6	25	-206955	115665	-9532	101392	-25513	30212	-111431	107302
Run 7	30	-201003	115283	-16492	102780	-25414	30112	-112230	108101
Run 8	35	-194752	115279	-23408	103451	-25412	30111	-112240	108110
Run 9	40	-188276	115667	-30188	103365	-25514	30213	-111427	107297
Run 10	45	-181654	116468	-36724	102479	-25723	30422	-109755	105625

Tabla 52. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando gamma con alfa=45

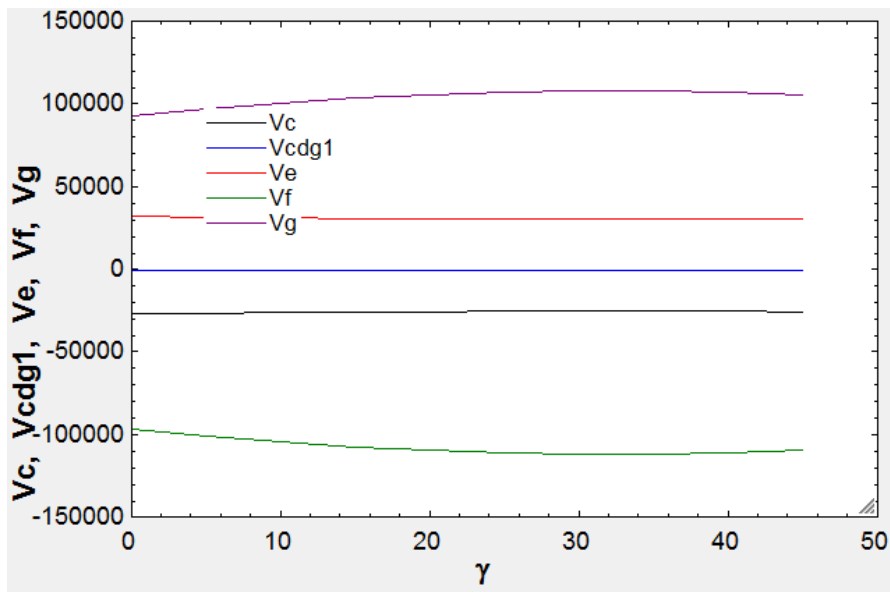


Fig 90. Gráfico de cortantes barra 1 variación de gama con alfa=45

**BARRA 2**

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=0

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8
	alfa	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI	
Run 1	0	88769	-93745	4977	-46605	51935	-2660	
Run 2	5	87197	-92174	4977	-46605	51935	-2660	
Run 3	10	85767	-90743	4977	-46605	51935	-2660	
Run 4	15	84480	-89457	4977	-46605	51935	-2660	
Run 5	20	83339	-88316	4977	-46605	51935	-2660	
Run 6	25	82343	-87320	4977	-46605	51935	-2660	
Run 7	30	81493	-86470	4977	-46605	51935	-2660	
Run 8	35	80786	-85763	4977	-46605	51935	-2660	
Run 9	40	80222	-85199	4977	-46605	51935	-2660	
Run 10	45	79797	-84774	4977	-46605	51935	-2660	

Tabla 53. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando alfa con gamma=0

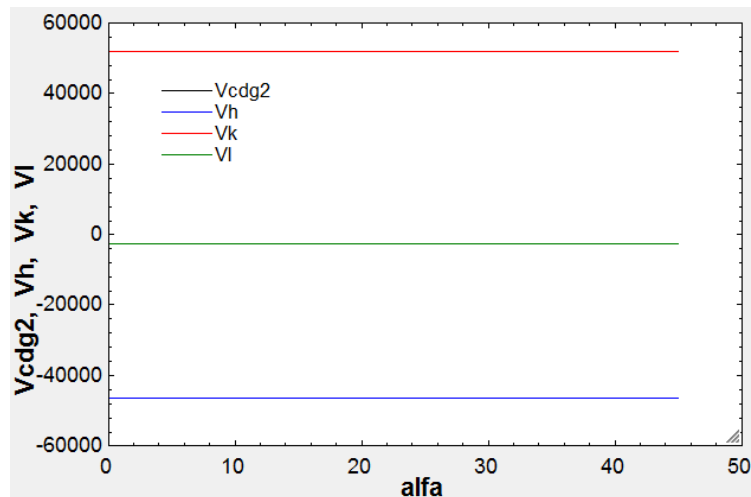


Fig 91. Gráfico de cortantes barra 2 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=22.5

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8
	alfa	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI	
Run 1	0	98211	-105637	6405	-43057	47982	-2458	
Run 2	5	96912	-104338	6405	-43057	47982	-2458	
Run 3	10	95786	-103213	6405	-43057	47982	-2458	
Run 4	15	94832	-102259	6405	-43057	47982	-2458	
Run 5	20	94048	-101474	6405	-43057	47982	-2458	
Run 6	25	93430	-100857	6405	-43057	47982	-2458	
Run 7	30	92977	-100403	6405	-43057	47982	-2458	
Run 8	35	92684	-100111	6405	-43057	47982	-2458	
Run 9	40	92549	-99976	6405	-43057	47982	-2458	
Run 10	45	92569	-99995	6405	-43057	47982	-2458	

Tabla 54. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando alfa con gamma=22.5

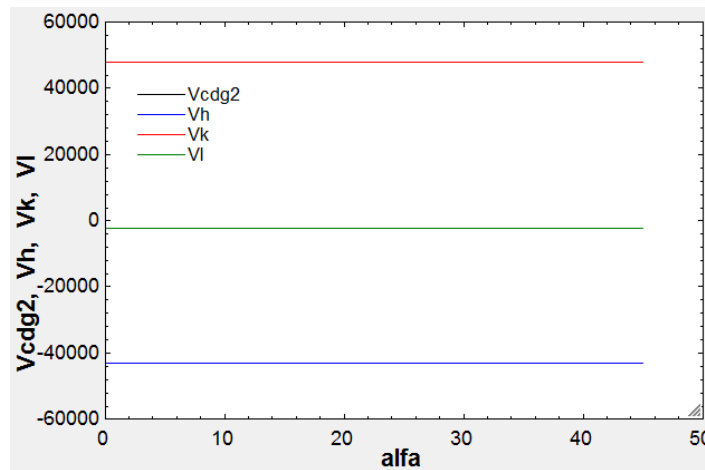


Fig 92. Gráfico de cortantes barra 2 variación de alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=45

Run	alfa	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI
Run 1	0	100407	-111215	8919	-32955	36724	-1881
Run 2	5	99431	-110238	8919	-32955	36724	-1881
Run 3	10	98668	-109475	8919	-32955	36724	-1881
Run 4	15	98115	-108922	8919	-32955	36724	-1881
Run 5	20	97766	-108573	8919	-32955	36724	-1881
Run 6	25	97617	-108424	8919	-32955	36724	-1881
Run 7	30	97664	-108471	8919	-32955	36724	-1881
Run 8	35	97903	-108711	8919	-32955	36724	-1881
Run 9	40	98332	-109139	8919	-32955	36724	-1881
Run 10	45	98948	-109755	8919	-32955	36724	-1881

Tabla 55. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando alfa con gamma=45

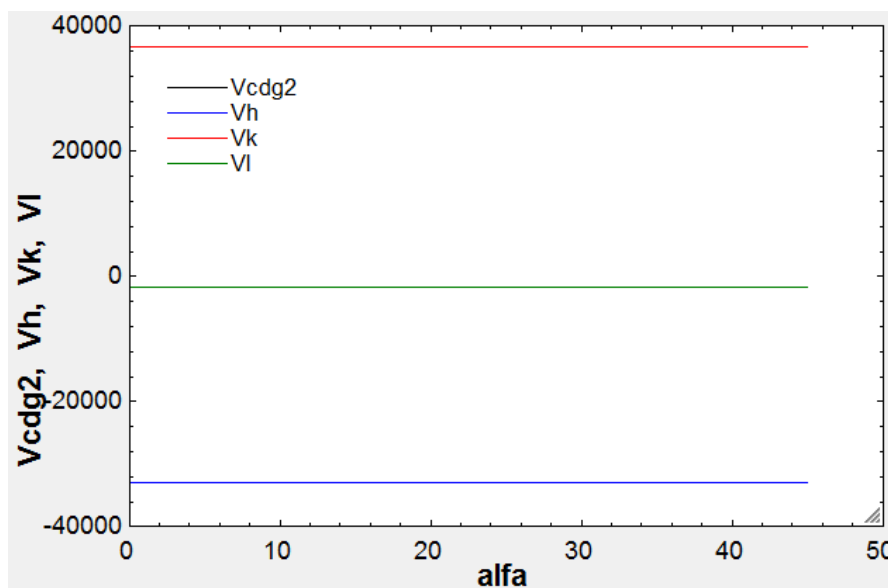


Fig 93. Gráfico de cortantes barra 2 variación de alfa con gamma=45.

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=0

1..10	$\gamma$	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI
Run 1	0	88769	-93745	4977	-46605	51935	-2660
Run 2	5	91156	-96616	5228	-46428	51737	-2650
Run 3	10	93428	-99407	5515	-45897	51146	-2620
Run 4	15	95526	-102058	5841	-45017	50165	-2569
Run 5	20	97388	-104508	6206	-43794	48803	-2500
Run 6	25	98948	-106692	6615	-42238	47069	-2411
Run 7	30	100128	-108540	7077	-40361	44977	-2304
Run 8	35	100841	-109974	7601	-38177	42543	-2179
Run 9	40	100979	-110902	8207	-35702	39785	-2038
Run 10	45	100407	-111215	8919	-32955	36724	-1881

Tabla 56. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando gamma con alfa=0

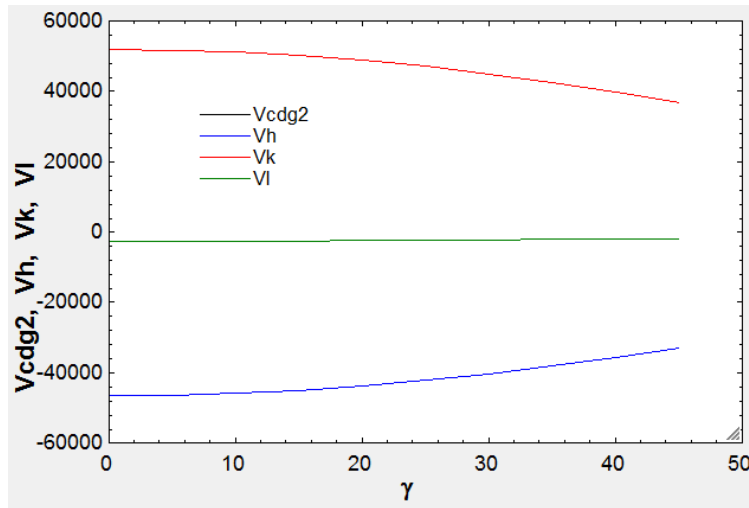


Fig 94. Gráfico de cortantes barra 2 variación de gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=22.5

1..10	$\gamma$	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI
Run 1	0	82823	-87800	4977	-46605	51935	-2660
Run 2	5	85530	-90990	5228	-46428	51737	-2650
Run 3	10	88119	-94099	5515	-45897	51146	-2620
Run 4	15	90538	-97070	5841	-45017	50165	-2569
Run 5	20	92728	-99848	6206	-43794	48803	-2500
Run 6	25	94627	-102371	6615	-42238	47069	-2411
Run 7	30	96163	-104575	7077	-40361	44977	-2304
Run 8	35	97253	-106386	7601	-38177	42543	-2179
Run 9	40	97797	-107719	8207	-35702	39785	-2038
Run 10	45	97667	-108474	8919	-32955	36724	-1881

Tabla 57. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando gamma con alfa=22.5

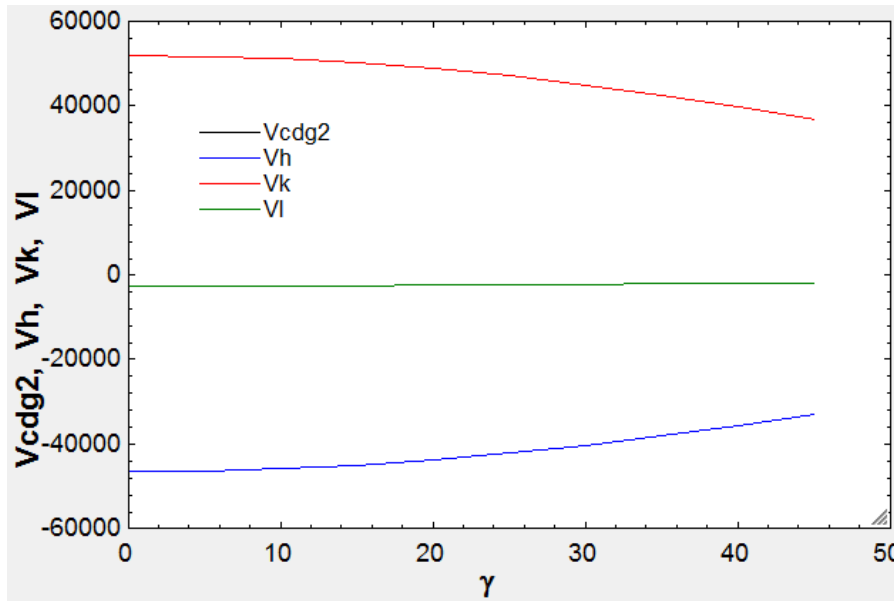


Fig 95. Gráfico de cortantes barra 2 variación de gamma con alfa=22.5

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=45

	1	2	3	4	5	6	7	8
	$\gamma$	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI	
Run 1	0	79797	-84774	4977	-46605	51935	-2660	
Run 2	5	82904	-88365	5228	-46428	51737	-2650	
Run 3	10	85899	-91878	5515	-45897	51146	-2620	
Run 4	15	88733	-95265	5841	-45017	50165	-2569	
Run 5	20	91355	-98474	6206	-43794	48803	-2500	
Run 6	25	93707	-101451	6615	-42238	47069	-2411	
Run 7	30	95726	-104138	7077	-40361	44977	-2304	
Run 8	35	97337	-106470	7601	-38177	42543	-2179	
Run 9	40	98449	-108372	8207	-35702	39785	-2038	
Run 10	45	98948	-109755	8919	-32955	36724	-1881	

Tabla 58. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando gamma con alfa=45.

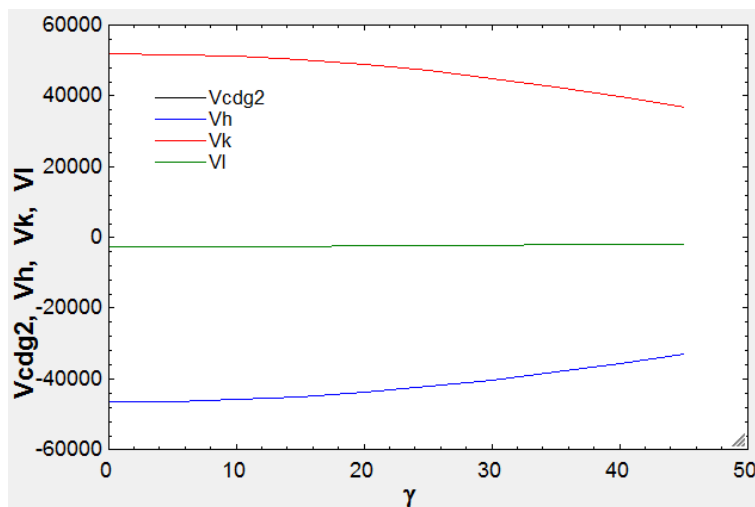


Fig 96. Gráfico de cortantes barra 2 variación de gamma con alfa=45

**BARRA 3**

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=0

1..10	1 alfa	2 Nj	3 Nm	4 Vj	5 Vm
Run 1	0	4977	-4977	160	160
Run 2	5	4977	-4977	160	160
Run 3	10	4977	-4977	160	160
Run 4	15	4977	-4977	160	160
Run 5	20	4977	-4977	160	160
Run 6	25	4977	-4977	160	160
Run 7	30	4977	-4977	160	160
Run 8	35	4977	-4977	160	160
Run 9	40	4977	-4977	160	160
Run 10	45	4977	-4977	160	160

Tabla 59. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando alfa con gamma=0

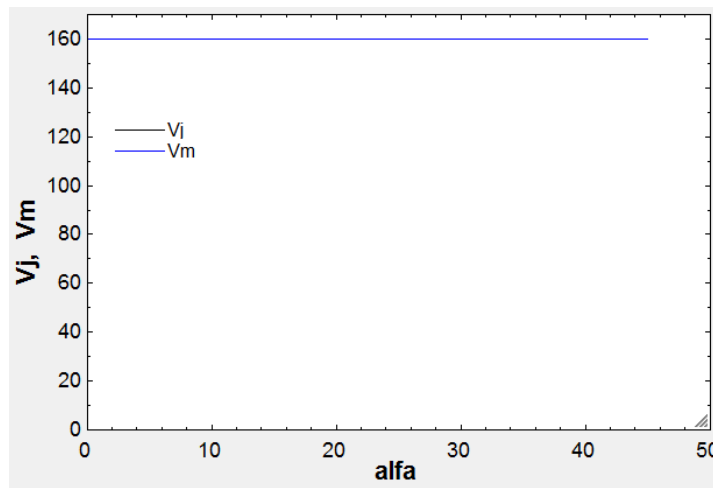


Fig 97. Gráfico de cortantes barra 3 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=22.5

1..10	1 alfa	2 Nj	3 Nm	4 Vj	5 Vm
Run 1	0	5326	-5448	147,8	147,8
Run 2	5	5326	-5448	147,8	147,8
Run 3	10	5326	-5448	147,8	147,8
Run 4	15	5326	-5448	147,8	147,8
Run 5	20	5326	-5448	147,8	147,8
Run 6	25	5326	-5448	147,8	147,8
Run 7	30	5326	-5448	147,8	147,8
Run 8	35	5326	-5448	147,8	147,8
Run 9	40	5326	-5448	147,8	147,8
Run 10	45	5326	-5448	147,8	147,8

Tabla 60. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando alfa con gamma=22.5

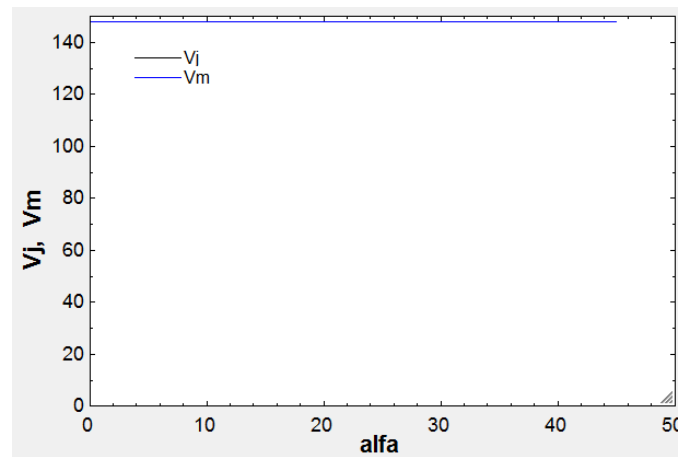


Fig 98. Gráfico de cortantes barra 3 variación de alfa con  $\gamma=22.5$

-Variación de alfa entre 0 y 45° con  $\gamma=45$

Run	alfa	Nj	Nm	Vj	Vm
Run 1	0	6925	-7151	113,1	113,1
Run 2	5	6925	-7151	113,1	113,1
Run 3	10	6925	-7151	113,1	113,1
Run 4	15	6925	-7151	113,1	113,1
Run 5	20	6925	-7151	113,1	113,1
Run 6	25	6925	-7151	113,1	113,1
Run 7	30	6925	-7151	113,1	113,1
Run 8	35	6925	-7151	113,1	113,1
Run 9	40	6925	-7151	113,1	113,1
Run 10	45	6925	-7151	113,1	113,1

Tabla 61. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando alfa con  $\gamma=45$

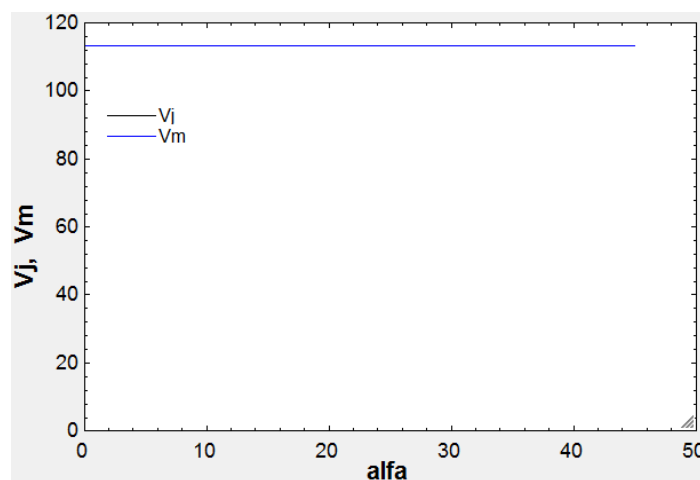


Fig 99. Gráfico de cortantes barra 3 variación de alfa con  $\gamma=45$



-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=0

1..10	$\gamma$	$N_j$	$N_m$	$V_j$	$V_m$
Run 1	0	4977	-4977	160	160
Run 2	5	4982	-5010	159,4	159,4
Run 3	10	5026	-5081	157,6	157,6
Run 4	15	5111	-5194	154,5	154,5
Run 5	20	5241	-5351	150,4	150,4
Run 6	25	5424	-5559	145	145
Run 7	30	5667	-5827	138,6	138,6
Run 8	35	5984	-6167	131,1	131,1
Run 9	40	6394	-6600	122,6	122,6
Run 10	45	6925	-7151	113,1	113,1

Tabla 62. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando gamma con alfa=0

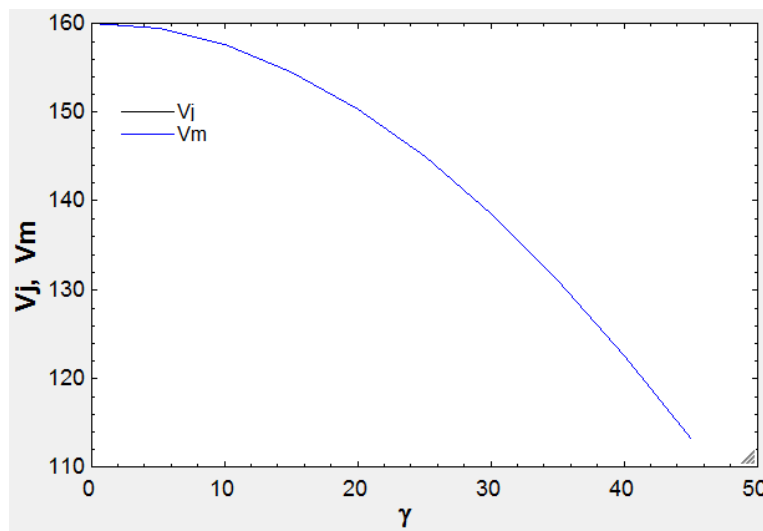


Fig 100. Gráfico de cortantes barra 3 variación de gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=22.5

1..10	$\gamma$	$N_j$	$N_m$	$V_j$	$V_m$
Run 1	0	4977	-4977	160	160
Run 2	5	4982	-5010	159,4	159,4
Run 3	10	5026	-5081	157,6	157,6
Run 4	15	5111	-5194	154,5	154,5
Run 5	20	5241	-5351	150,4	150,4
Run 6	25	5424	-5559	145	145
Run 7	30	5667	-5827	138,6	138,6
Run 8	35	5984	-6167	131,1	131,1
Run 9	40	6394	-6600	122,6	122,6
Run 10	45	6925	-7151	113,1	113,1

Tabla 63. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando gamma con alfa=22.5

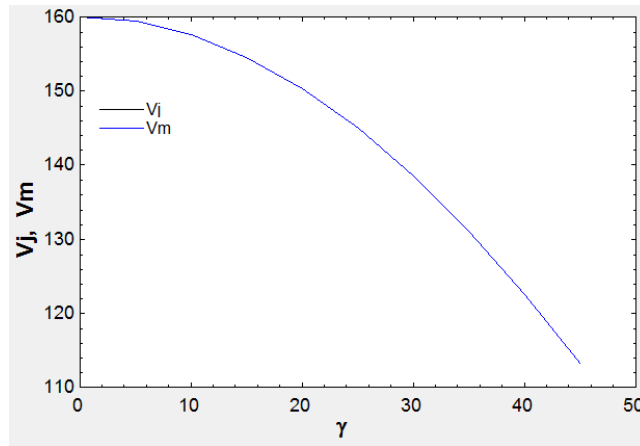


Fig 101. Gráfico de cortantes barra 3 variación de gamma con alfa=22.5

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=45

1..10	1	2	3	4	5	
	$\gamma$	$N_j$	$N_m$	$V_j$	$V_m$	
Run 1	0	4977	-4977	160	160	
Run 2	5	4982	-5010	159,4	159,4	
Run 3	10	5026	-5081	157,6	157,6	
Run 4	15	5111	-5194	154,5	154,5	
Run 5	20	5241	-5351	150,4	150,4	
Run 6	25	5424	-5559	145	145	
Run 7	30	5667	-5827	138,6	138,6	
Run 8	35	5984	-6167	131,1	131,1	
Run 9	40	6394	-6600	122,6	122,6	
Run 10	45	6925	-7151	113,1	113,1	

Tabla 64. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando gamma con alfa=45

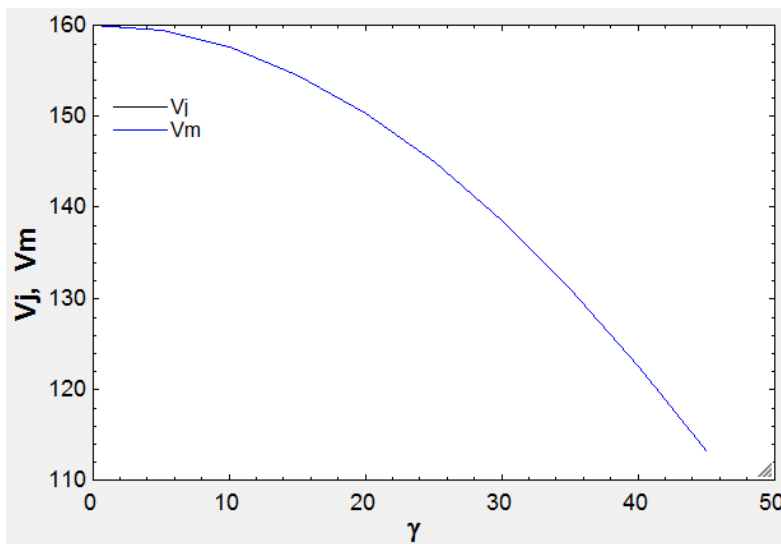


Fig 102. Gráfico de cortantes barra 3 variación de gamma con alfa=45

**BARRA 4**

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=0

1..10	1 alfa	2 Nd	3 Ni	4 Vd	5 Vi
Run 1	0	87489	-87489	100	100
Run 2	5	86406	-86388	99,62	99,62
Run 3	10	86100	-86065	98,48	98,48
Run 4	15	86586	-86535	96,59	96,59
Run 5	20	87913	-87845	93,97	93,97
Run 6	25	90165	-90081	90,63	90,63
Run 7	30	93477	-93377	86,6	86,6
Run 8	35	98050	-97936	81,92	81,92
Run 9	40	104185	-104056	76,6	76,6
Run 10	45	112326	-112185	70,71	70,71

Tabla 65. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando alfa con gamma=0

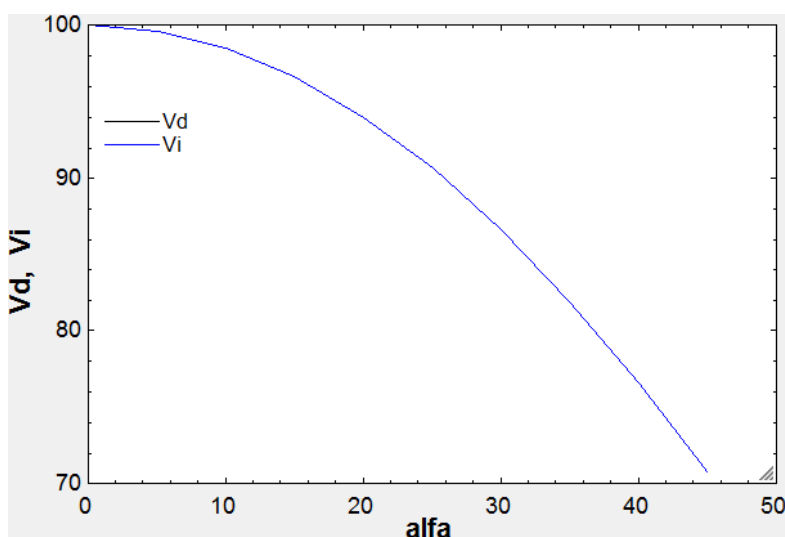


Fig 103. Gráfico de cortantes barra 4 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=22.5

1..10	1 alfa	2 Nd	3 Ni	4 Vd	5 Vi
Run 1	0	74367	-74367	100	100
Run 2	5	73571	-73553	99,62	99,62
Run 3	10	73475	-73441	98,48	98,48
Run 4	15	74095	-74043	96,59	96,59
Run 5	20	75473	-75405	93,97	93,97
Run 6	25	77691	-77607	90,63	90,63
Run 7	30	80873	-80773	86,6	86,6
Run 8	35	85207	-85092	81,92	81,92
Run 9	40	90970	-90841	76,6	76,6
Run 10	45	98576	-98435	70,71	70,71

Tabla 66. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando alfa con gamma=22.5

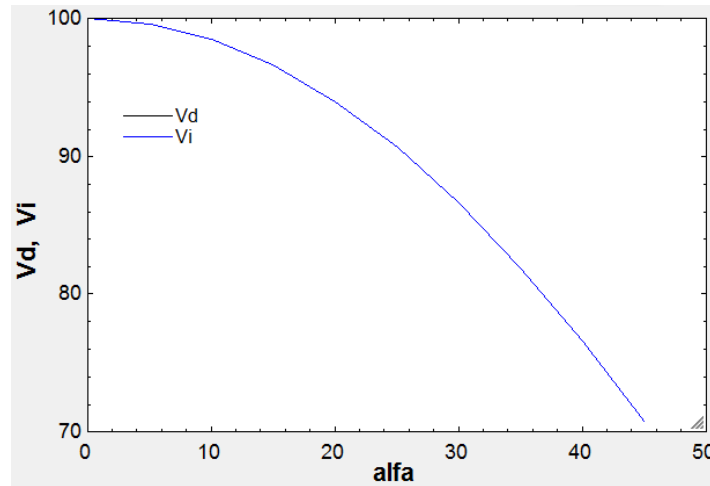


Fig 104. Gráfico de cortantes barra 4 variación de alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=45

	1	2	3	4	5	6
	alfa	Nd	Ni	Vd	Vi	
Run 1	0	50350	-50350	100	100	
Run 2	5	49924	-49906	99,62	99,62	
Run 3	10	50014	-49980	98,48	98,48	
Run 4	15	50634	-50582	96,59	96,59	
Run 5	20	51818	-51749	93,97	93,97	
Run 6	25	53628	-53544	90,63	90,63	
Run 7	30	56163	-56063	86,6	86,6	
Run 8	35	59568	-59454	81,92	81,92	
Run 9	40	64059	-63930	76,6	76,6	
Run 10	45	69956	-69814	70,71	70,71	

Tabla 67. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando alfa con gamma=45

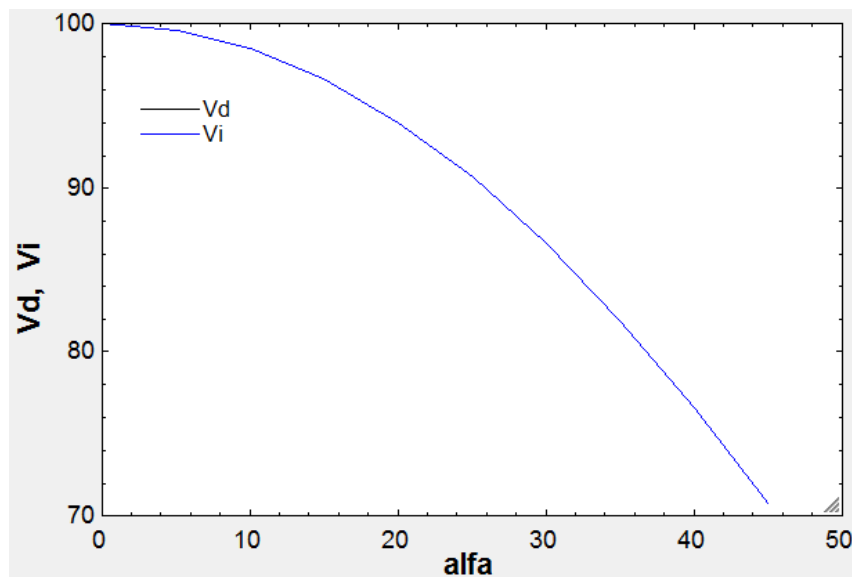


Fig 105. Gráfico de cortantes barra 4 variación de alfa con gamma=45

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=0

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	87489	-87489	100	100
Run 2	5	85675	-85675	100	100
Run 3	10	83212	-83212	100	100
Run 4	15	80120	-80120	100	100
Run 5	20	76428	-76428	100	100
Run 6	25	72169	-72169	100	100
Run 7	30	67383	-67383	100	100
Run 8	35	62114	-62114	100	100
Run 9	40	56417	-56417	100	100
Run 10	45	50350	-50350	100	100

Tabla 68. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando gamma con alfa=0

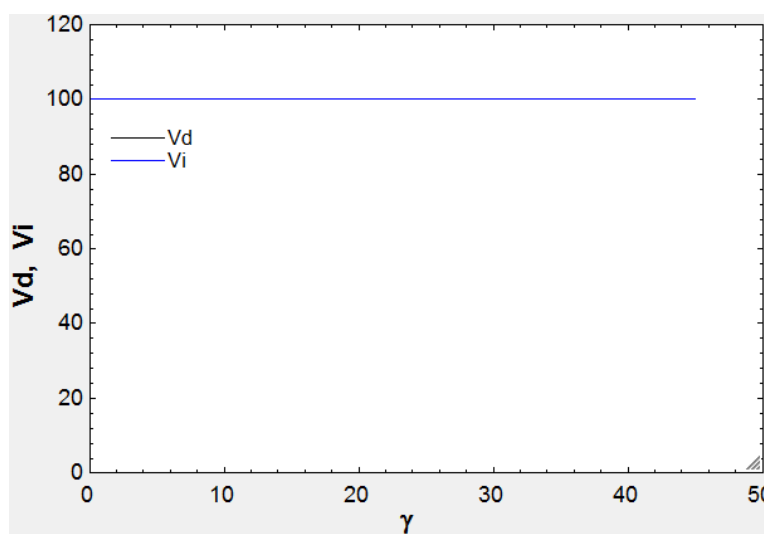


Fig 106. Gráfico de cortantes barra 4 variación de gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=22.5

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	88916	-88840	92,39	92,39
Run 2	5	87287	-87210	92,39	92,39
Run 3	10	84990	-84913	92,39	92,39
Run 4	15	82045	-81968	92,39	92,39
Run 5	20	78478	-78401	92,39	92,39
Run 6	25	74321	-74244	92,39	92,39
Run 7	30	69612	-69535	92,39	92,39
Run 8	35	64394	-64317	92,39	92,39
Run 9	40	58717	-58641	92,39	92,39
Run 10	45	52640	-52563	92,39	92,39

Tabla 69. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando gamma con alfa=22.5

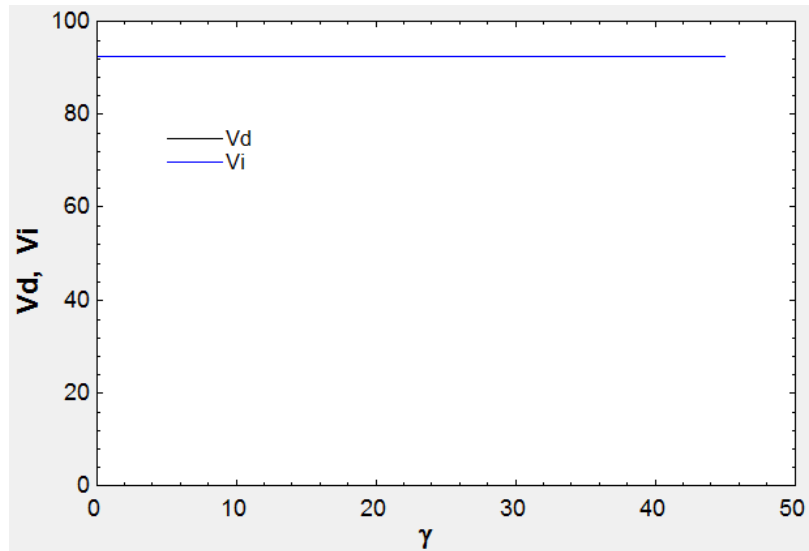


Fig 107. Gráfico de cortantes barra 4 variación de gamma con alfa=22.5

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=45

1..10	1	2	3	4	5	6
	$\gamma$	Nd	Ni	Vd	Vi	
Run 1	0	112326	-112185	70,71	70,71	
Run 2	5	110722	-110580	70,71	70,71	
Run 3	10	108268	-108127	70,71	70,71	
Run 4	15	104987	-104846	70,71	70,71	
Run 5	20	100906	-100765	70,71	70,71	
Run 6	25	96060	-95918	70,71	70,71	
Run 7	30	90489	-90348	70,71	70,71	
Run 8	35	84243	-84102	70,71	70,71	
Run 9	40	77378	-77236	70,71	70,71	
Run 10	45	69956	-69814	70,71	70,71	

Tabla 70. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando gamma con alfa=45

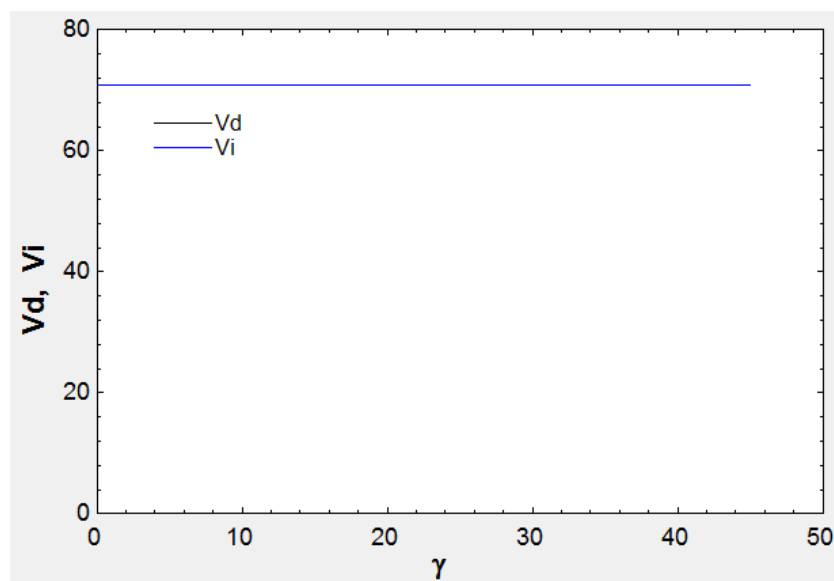


Fig 108. Gráfico de cortantes barra 4 variación de gamma con alfa=45

**BARRA 5**

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=0

1..10	1 alfa	2 ResultanteG	3 ResultanteH	4 ResultanteI	5 ResultanteJ
<b>Run 1</b>	0	46518	100259	87489	4979
Run 2	5	53971	98870	86388	4979
Run 3	10	61334	97611	86065	4979
Run 4	15	68748	96483	86535	4979
Run 5	20	76367	95485	87845	4979
Run 6	25	84371	94617	90081	4979
Run 7	30	92975	93878	93377	4979
Run 8	35	102449	93266	97936	4979
Run 9	40	113153	92777	104056	4979
Run 10	45	125588	92410	112185	4979

Tabla 71. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=22.5

1..10	1 alfa	2 ResultanteG	3 ResultanteH	4 ResultanteI	5 ResultanteJ
<b>Run 1</b>	0	79065	107235	74367	5328
Run 2	5	84962	106046	73554	5328
Run 3	10	90862	105019	73441	5328
Run 4	15	96900	104149	74043	5328
Run 5	20	103222	103436	75405	5328
Run 6	25	109991	102875	77607	5328
Run 7	30	117406	102463	80773	5328
Run 8	35	125716	102197	85092	5328
Run 9	40	135252	102075	90841	5328
Run 10	45	146475	102092	98435	5328

Tabla 72. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=45

1..10	1 alfa	2 ResultanteG	3 ResultanteH	4 ResultanteI	5 ResultanteJ
<b>Run 1</b>	0	98795	105677	50350	6926
Run 2	5	102452	104749	49906	6926
Run 3	10	106243	104026	49980	6926
Run 4	15	110267	103501	50582	6926
Run 5	20	114631	103171	51750	6926
Run 6	25	119461	103030	53544	6926
Run 7	30	124903	103074	56063	6926
Run 8	35	131149	103301	59454	6926
Run 9	40	138453	103707	63930	6926
Run 10	45	147169	104291	69814	6926

Tabla 73. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando alfa con gamma=45

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=0

1..10	γ	ResultanteG	ResultanteH	ResultanteI	ResultanteJ
<b>Run 1</b>	0	46518	100259	87489	4979
Run 2	5	54460	102298	85675	4984
Run 3	10	62063	104092	83212	5028
Run 4	15	69247	105602	80120	5113
Run 5	20	75934	106782	76428	5244
Run 6	25	82040	107586	72169	5426
Run 7	30	87479	107957	67383	5668
Run 8	35	92156	107826	62115	5985
Run 9	40	95969	107104	56417	6395
Run 10	45	98795	105677	50350	6926

Tabla 74. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=22.5

1..10	γ	ResultanteG	ResultanteH	ResultanteI	ResultanteJ
<b>Run 1</b>	0	80309	95035	88840	4979
Run 2	5	87195	97318	87210	4984
Run 3	10	93529	99356	84913	5028
Run 4	15	99249	101112	81968	5113
Run 5	20	104292	102550	78401	5244
Run 6	25	108593	103626	74244	5426
Run 7	30	112087	104290	69535	5668
Run 8	35	114704	104478	64317	5985
Run 9	40	116365	104109	58641	6395
Run 10	45	116979	103077	52563	6926

Tabla 75. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando gamma con alfa=22.5

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=45

1..10	γ	ResultanteG	ResultanteH	ResultanteI	ResultanteJ
<b>Run 1</b>	0	125588	92410	112185	4979
Run 2	5	131750	95019	110580	4984
Run 3	10	137085	97392	108127	5028
Run 4	15	141543	99499	104846	5113
Run 5	20	145072	101310	100765	5244
Run 6	25	147628	102787	95918	5426
Run 7	30	149163	103887	90348	5668
Run 8	35	149632	104556	84102	5985
Run 9	40	148987	104722	77236	6395
Run 10	45	147169	104291	69814	6926

Tabla 76. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando gamma con alfa=45



## ANEXO 3.2.2. CORTANTES MÁXIMOS

Observando las gráficas se ha buscado la posición en la que encontramos las mayores cargas en los nudos de cada una de las barras y posteriormente se ha seleccionado el valor máximo de los cortantes.

**BARRA 1**

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	gamma=0	Vf	45	-96668
alfa	gamma=22,5°	Vf	40	-110835
alfa	gamma=45°	Vf	25	-114446
gamma	alfa=0	Vf	45	-104608
gamma	alfa=22,5°	Vf	45	-114270
gamma	alfa=45°	Vf	35	-112240

Tabla 77. Tabla de cortantes máximos de la barra 1

El mayor cortante de la barra 1 lo encontramos en el nudo F en la posición donde alfa forma 25° y gamma 45° ambos con la normal.

**BARRA 2**

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	gamma=0	Vk	no varía	51935
alfa	gamma=22,5°	Vk	no varía	47982
alfa	gamma=45°	Vk	no varía	36724
gamma	alfa=0	Vk	0	51935
gamma	alfa=22,5°	Vk	0	51935
gamma	alfa=45°	Vk	0	51935

Tabla 78. Tabla de cortantes máximos de la barra 2

En la barra 2 nos encontramos varios valores de cortantes que coinciden, así que se ha elegido la posición donde el axil es mayor. Esta posición es cuando alfa y gamma forman 0° con la horizontal (-93745 N).

**BARRA 3**

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	gamma=0	Vj=Vm	no varía	160
alfa	gamma=22,5°	Vj=Vm	no varía	147,8
alfa	gamma=45°	Vj=Vm	no varía	113,1
gamma	alfa=0	Vj=Vm	0	160
gamma	alfa=22,5°	Vj=Vm	0	160
gamma	alfa=45°	Vj=Vm	0	160

Tabla 79. Tabla de cortantes máximos de la barra 3

Para este caso los cortantes máximos y sus axiles coinciden, así que se eligió cualquier posición donde gamma es 0 (AXIL= -7151).

**BARRA 4**

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	gamma=0	Vi=Vd	0	100
alfa	gamma=22,5°	Vi=Vd	0	100
alfa	gamma=45°	Vi=Vd	0	100
gamma	alfa=0	Vi=Vd	no varía	100
gamma	alfa=22,5°	Vi=Vd	no varía	92,39
gamma	alfa=45°	Vi=Vd	no varía	70,71

Tabla 80. tabla de cortantes máximos para la barra 4

En la barra 4 nos encontramos varios cortantes que coinciden en valor, por lo que seleccionaremos entre ellos el que tenga mayor axil. Este lo encontramos cuando los dos ángulos son 0° con un valor de 112326 N.

**BARRA 5**

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Nudo más solicitado	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	gamma=0	G	45	125588
alfa	gamma=22,5°	G	45	146475
alfa	gamma=45°	G	45	147169
gamma	alfa=0	H	45	107957
gamma	alfa=22,5°	G	45	116979
gamma	alfa=45°	G	35	149632

Tabla 81. Tabla de resultantes máximas en la barra 5

Para la barra 5 se ha utilizado el valor máximo para calcularla a aplastamiento y obtener el grosor de las paredes.

## ANEXO 3.2.3. DIAGRAMAS DE ESFUERZOS

Una vez obtenidas las secciones críticas de cada barra se han calculado los diagramas para obtener los esfuerzos máximos y dimensionar respecto a estos.

**BARRA 1**

-Flector

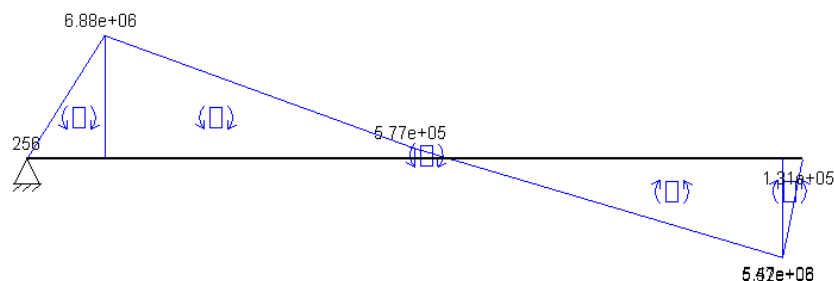


Fig 109. Esfuerzos flectores en la barra 1

-Axil

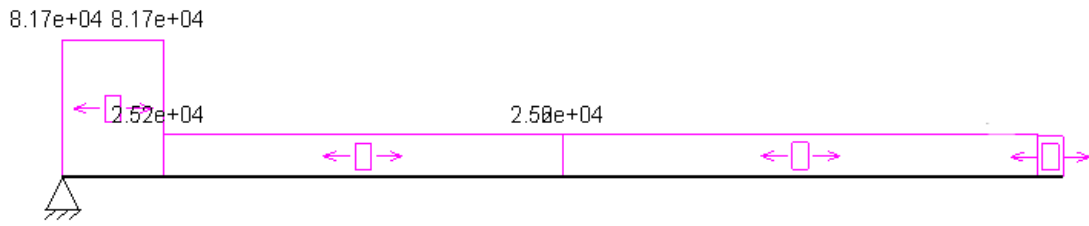


Fig 110. Esfuerzos axiles en la barra 1

**BARRA 2**

-Flector

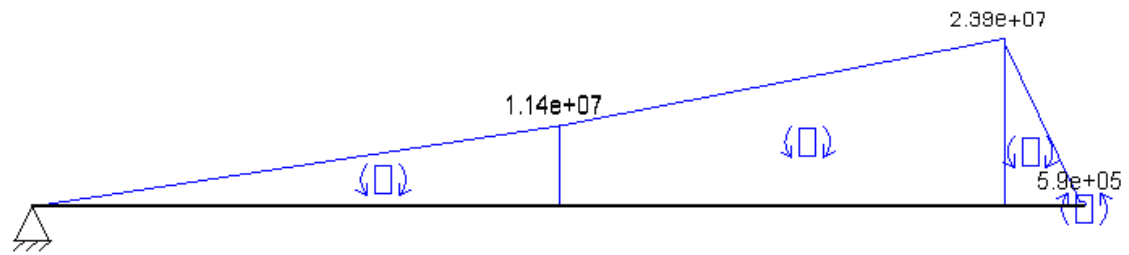


Fig 111. Esfuerzos flectores en la barra 2

-Axil

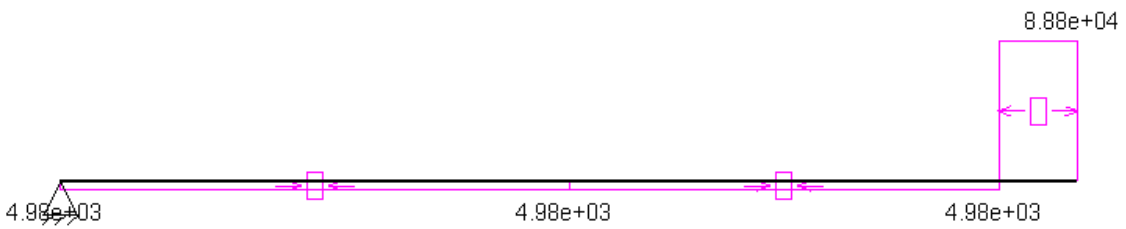


Fig 112. Esfuerzos axiles en la barra 2

**BARRA 3**

-Flector

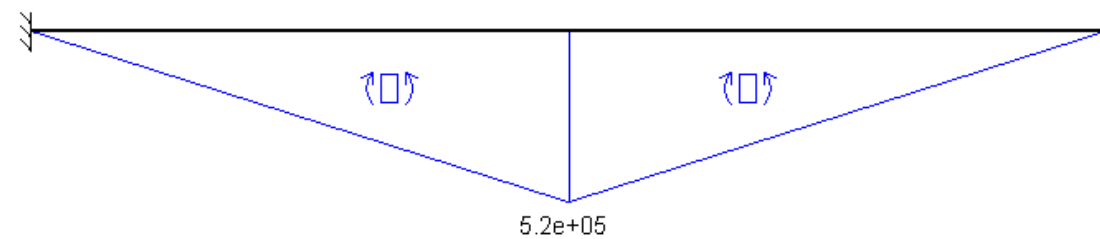


Fig 113. Esfuerzos flectores en la barra 3

-Axil

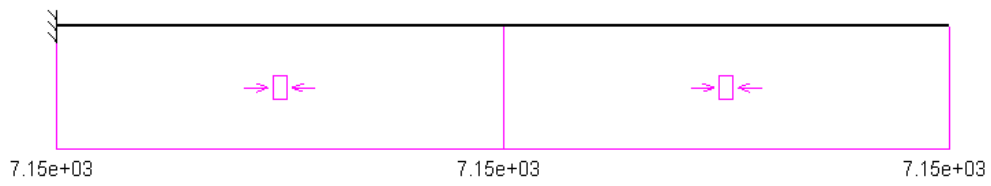


Fig 114. Esfuerzos axiles en la barra 3

**BARRA 4**

-Flector

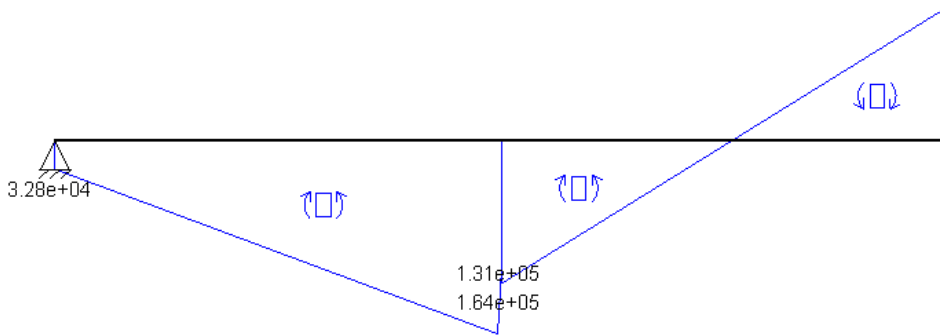


Fig 115. Esfuerzos flectores en la barra 4

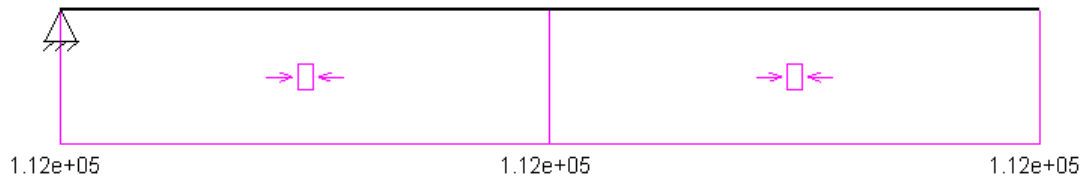


Fig 116. Esfuerzos axiles en la barra 4

## ANEXO 3.2.4. DIMENSIONADO DE LAS BARRAS

El dimensionado de las barras, al igual que en la iteración anterior, se ha basado en el teorema de cortante máximo (ANEXO 4) y se ha trabajado de la misma manera y con el mismo material.

**BARRA 1**

Mf,máx	6,88E+06	6,88E+06	6,88E+06
Wf=Mf/σ [mm <sup>3</sup> ]	5,43E+04	5,43E+04	5,43E+04
Wf[cm <sup>3</sup> ]	54,30	54,30	54,30
perfil elegido	110x100x5	110x100x6	120x80x12
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	58,7	67,6	69,8
Wf elegido[mm <sup>3</sup> ]	58700	67600	69800
Área[cm <sup>2</sup> ]	19,4	22,8	36,1
Área[m <sup>2</sup> ]	0,00194	0,00228	0,00361
Área[mm <sup>2</sup> ]	1940	2280	3610
Longitud[m]	4	4	4
Volumen[m <sup>3</sup> ]	0,00776	0,00912	0,01444
Peso[kg]	60,528	71,136	112,632
Axil [N]	8,17E+04	8,17E+04	8,17E+04
σ=N/A+Mf/Wf	159,30	137,59	121,18
	σ>σadm NO CUMPLE	σ>σadm NO CUMPLE	σ<σadm CUMPLE

Fig 117. Tabla de selección de perfil de la barra 1

Comenzaríamos el cálculo con el perfil seleccionado en la iteración anterior pero comprobamos que el módulo a flexión no supera el mínimo ( $41,69 < 54,30$ ) por lo tanto se ha buscado otros perfiles para cumplir los requisitos establecidos.

En esta tabla se muestra el perfil elegido y otros datos de interés como el peso propio de la barra.

**BARRA 2**

Mf,máx	2,39E+07	2,39E+07	2,39E+07
Wf=Mf/σ [mm <sup>3</sup> ]	1,88E+05	1,88E+05	1,88E+05
Wf[cm <sup>3</sup> ]	188,46	188,46	188,46
perfil elegido	160x140x10	200x150x7	160x140x12
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	212	218	228
Wf elegido[mm <sup>3</sup> ]	212000	218000	228000
Área[cm <sup>2</sup> ]	52,6	45,4	60,1
Área[m <sup>2</sup> ]	0,00526	0,00454	0,00601
Área[mm <sup>2</sup> ]	5260	4540	6010
Longitud[m]	6,5	6,5	6,5
Volumen[m <sup>3</sup> ]	0,03419	0,02951	0,039065
Peso[kg]	266,682	230,178	304,707
Axil [N]	8,88E+04	8,88E+04	8,88E+04
σ=N/A+Mf/Wf	129,48	129,05	119,47
	σ>σadm NO CUMPLE	σ>σadm NO CUMPLE	σ<σadm CUMPLE

Tabla 82. Tabla de selección de perfil de la barra 2

Comenzando el cálculo con el perfil seleccionado en la iteración anterior se ha comprobado que no cumple el teorema de cortante máximo, por ello, se ha buscado un nuevo perfil.

**BARRA 3**

Mf,máx	5,20E+05
Wf=Mf/σ [mm <sup>3</sup> ]	4,11E+03
Wf[cm <sup>3</sup> ]	4,11
perfil elegido	30x30 (macizo)
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	4,5
Wf elegido[mm <sup>3</sup> ]	4500
Área[cm <sup>2</sup> ]	9
Área[m <sup>2</sup> ]	0,0009
Área[mm <sup>2</sup> ]	900
Longitud[m]	6,5
Volumen[m <sup>3</sup> ]	0,00585
Peso[kg]	45,63
Axil [N]	7,15E+03
σ=N/A+Mf/Wf	123,50
	σ<σadm CUMPLE

Tabla 83. Tabla de selección de perfil de la barra 3

**BARRA 4**

Mf,máx	1,64E+05	1,64E+05
Wf=Mf/σ [mm <sup>3</sup> ]	1,29E+03	1.293,47
Wf[cm <sup>3</sup> ]	1,29	1,29
perfil elegido	30x30	35x35
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	4,5	7,14
Wf elegido[mm <sup>3</sup> ]	4500	7140
Área[cm <sup>2</sup> ]	9	12,25
Área[m <sup>2</sup> ]	0,0009	0,001225
Área[mm <sup>2</sup> ]	900	1225
Longitud[m]	4	4
Volumen[m <sup>3</sup> ]	0,0036	0,0049
Peso[kg]	28,08	38,22
Axil [N]	1,12E+05	1,12E+05
σ=N/A+Mf/Wf	161,05	114,52
	σ>σadm NO CUMPLE	σ<σadm CUMPLE

Tabla 84. Tabla de selección de perfil de la barra 4

**BARRA 5**

Para dimensionar la barra 5 se ha hecho el cálculo por aplastamiento para obtener el grosor de sus paredes que, junto a la anchura de las barras elegidas, obtendremos la anchura total de esta barra y su peso propio.

Cálculo a cortadura:

Con este cálculo se ha obtenido el diámetro del pasador:

$$A_{cortadura} = \frac{\pi * d^2}{4} ; \quad \tau_{m\acute{a}x,adm} = \frac{\sigma_F}{2 * C_S} = \frac{380}{6} = 63.333 \text{ MPa}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{F/4}{A_c} = \frac{149632/4}{A_c} = 63.333 \rightarrow A_c = 590.65 \text{ mm}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * A_c}{\pi}} = 27.42 \approx 28 \text{ mm}$$

Cálculo a aplastamiento:

$$A_{aplastamiento} = d * e; \quad \tau_{m\acute{a}x,adm} = \frac{\sigma_F}{2 * C_S} = \frac{380}{6} = 63.333 \text{ MPa}; \quad \tau_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma}{2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x,adm} = 63,333 = \frac{149632/4}{2 * A_a} = \frac{149632/4}{2 * 28 * e} \rightarrow e = 10.5 \approx 11 \text{ mm}$$

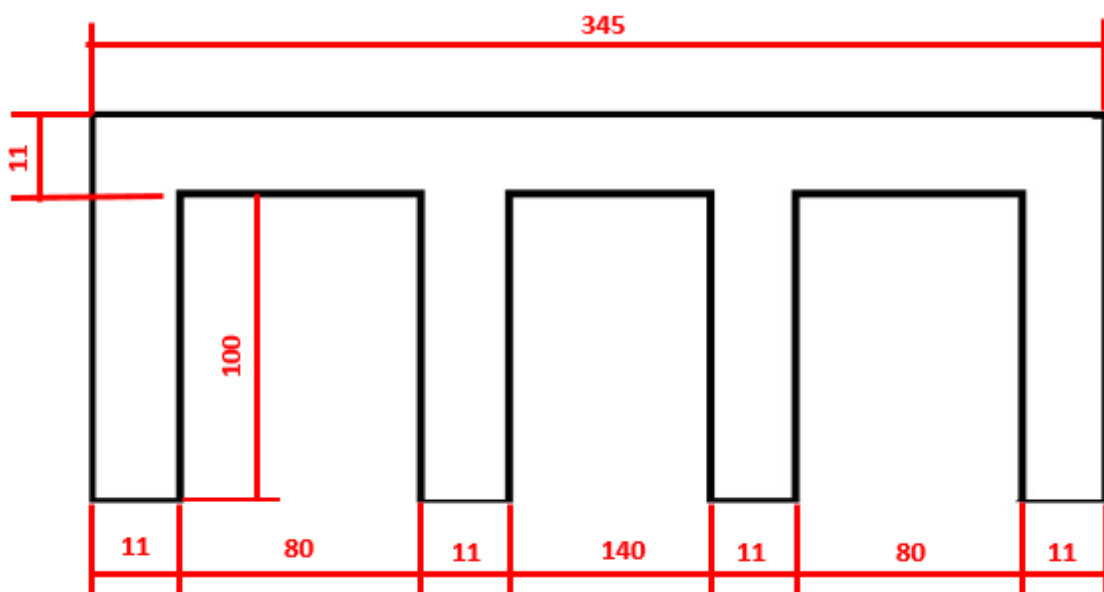


Fig 118. Dimensiones de barra 5 en la segunda iteración

$$\text{Área} = 8195 \text{ mm}^2$$

$$\text{Volumen} = \text{Área} * \text{Altura} = 3.27 * 10^6 \text{ mm}^3 = 0.00327 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso} = \text{Volumen} * \text{densidad} = 25.5 \approx 26 \text{ Kg}$$

Una vez obtenidas todos los perfiles y sus pesos se procedió a la siguiente iteración para comprobar si estos nuevos perfiles con las nuevas masas cumplen el coeficiente de seguridad.

### ANEXO 3.3 VALORES DE LOS PARÁMETROS TERCERA ITERACIÓN

En esta iteración se ha trabajado de la misma manera, con los nuevos perfiles y las nuevas masas se ha comprobado si la estructura soporta la carga, si no es así, volveremos a calcular perfiles nuevos.

Los nuevos valores aplicados a los parámetros de la estructura han sido:

Parámetro	longb1y4	longb2y3	longb5	d1cil1	d2cil1	d1cil2
Valor [mm]	4000	6500	400	200	400	50

Parámetro	d2cil2	Horejeta	Hcesta	Acesta	dHJ	dGI
Valor [mm]	500	500	1000	600	166,6	274,1

Parámetro	m1	m2	m3	m4	m5
Valor [Kg]	113	305	46	39	26

Fig 119. Parámetros de la tercera iteración

#### ANEXO 3.3.1. REACCIONES EN LOS NUDOS SEGÚN LA POSICION

Aquí se han obtenido, en ejes locales, las reacciones de los distintos nudos de cada barra.

##### BARRA 1

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=0

1.10	1 alfa	2 Nc	3 Ne	4 Nf	5 Ng	6 Vc	7 Ve	8 Vf	9 Vg
Run 1	0	-220320	126771	106648	-13100	-55791	63386	-55315	48850
Run 2	5	-221516	129905	99518	-7809	-54437	62003	-64233	57793
Run 3	10	-223360	132844	91827	-1115	-52707	60187	-72360	65993
Run 4	15	-225785	135503	83656	6918	-50608	57944	-79682	73437
Run 5	20	-228752	137791	75082	16265	-48149	55286	-86193	80118
Run 6	25	-232254	139606	66178	26948	-45343	52227	-91892	86033
Run 7	30	-236313	140825	57009	39044	-42206	48783	-96786	91187
Run 8	35	-241002	141304	47637	52709	-38755	44976	-100883	95587
Run 9	40	-246453	140855	38120	68204	-35010	40829	-104195	99243
Run 10	45	-252893	139231	28509	85952	-30997	36368	-106736	102165

Tabla 85. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando alfa con gamma=0



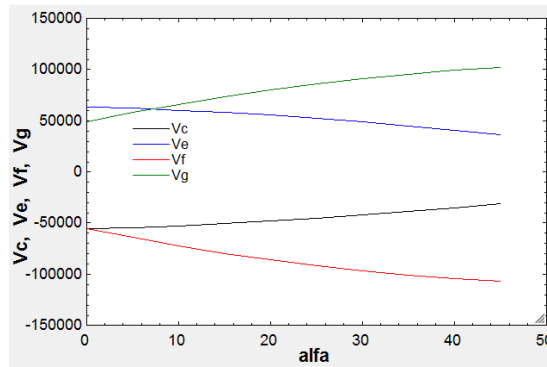


Fig 120. Gráfico de cortantes barra 1 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa con gamma=22,5

Run	alfa	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg
Run 1	0	-196578	117485	89671	-10579	-51148	58743	-92458	85993
Run 2	5	-198246	120748	79885	-2288	-50066	57633	-99200	92759
Run 3	10	-200484	123823	69790	7066	-48620	56100	-105055	98688
Run 4	15	-203228	126630	59452	17438	-46814	54150	-110035	103790
Run 5	20	-206440	129081	48932	28814	-44654	51791	-114153	108078
Run 6	25	-210109	131075	38284	41227	-42152	49035	-117424	111565
Run 7	30	-214255	132497	27560	54763	-39321	45898	-119865	114266
Run 8	35	-218942	133210	16805	69575	-36178	42400	-121493	116197
Run 9	40	-224291	133037	6064	85917	-32744	38562	-122324	117371
Run 10	45	-230512	131746	-4625	104190	-29042	34413	-122376	117804

Tabla 86. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando alfa con gamma=22.5

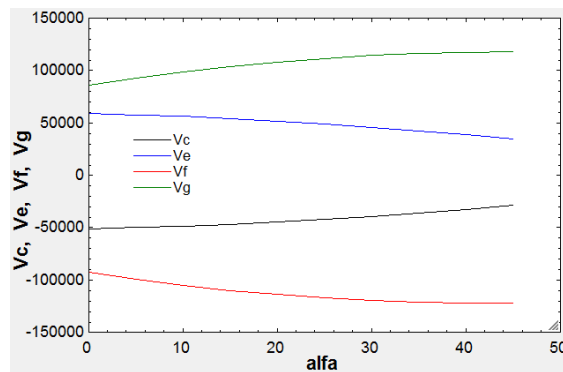


Fig 121. Gráfico de cortantes barra 1 variación de alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa con gamma=45

Run	alfa	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg
Run 1	0	-165146	111959	59249	-6061	-48385	55980	-114564	108099
Run 2	5	-167745	115719	48291	3833	-47666	55232	-118401	111961
Run 3	10	-170731	119310	37265	14352	-46576	54055	-121412	115045
Run 4	15	-174047	122660	26207	25473	-45116	52452	-123619	117374
Run 5	20	-177657	125688	15151	37205	-43293	50430	-125042	118967
Run 6	25	-181544	128310	4127	49585	-41118	48001	-125699	119840
Run 7	30	-185717	130425	-6837	62694	-38603	45181	-125607	120009
Run 8	35	-190217	131919	-17715	76661	-35767	41989	-124780	119485
Run 9	40	-195132	132647	-28482	91694	-32631	38449	-123230	118277
Run 10	45	-200618	132422	-39114	108109	-29219	34589	-120965	116393

Tabla 87. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando alfa con gamma=45

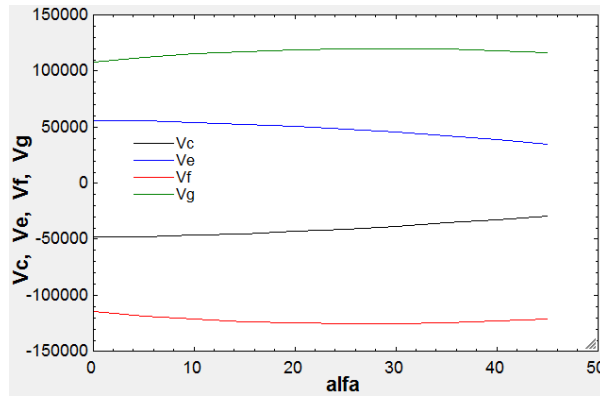


Fig 122. Gráfico de cortantes barra 1 variación de alfa con gamma=45

-Variación de gamma con alfa=0

Run	$\gamma$	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg
Run 1	0	-220320	126771	106648	-13100	-55791	63386	-55315	48850
Run 2	5	-215992	124491	104244	-12743	-54651	62246	-64435	57970
Run 3	10	-211084	122318	101032	-12266	-53564	61159	-73130	66665
Run 4	15	-205638	120271	97040	-11673	-52540	60135	-81317	74852
Run 5	20	-199707	118372	92305	-10970	-51591	59186	-88911	82446
Run 6	25	-193350	116644	86868	-10163	-50727	58322	-95822	89357
Run 7	30	-186634	115111	80781	-9259	-49961	57556	-101954	95489
Run 8	35	-179635	113799	74103	-8267	-49305	56900	-107202	100737
Run 9	40	-172440	112737	66900	-7197	-48774	56369	-111450	104985
Run 10	45	-165146	111959	59249	-6061	-48385	55980	-114564	108099

Tabla 88. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando gamma con alfa=0

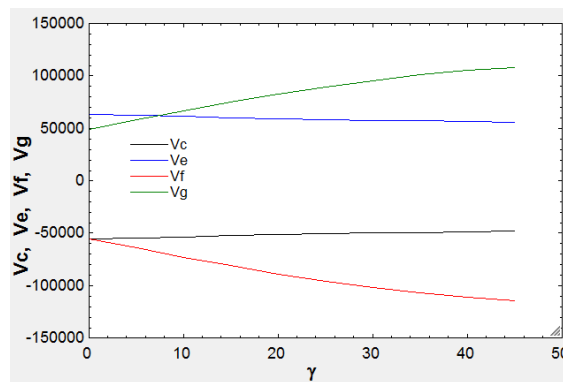


Fig 123. Gráfico de cortantes barra 1 variación de gamma con alfa=0

-Variación de gamma con alfa=22.5

Run	$\gamma$	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg
Run 1	0	-230436	138765	70667	21436	-46789	53806	-89144	83171
Run 2	5	-226320	136470	65580	24703	-45899	52916	-96262	90289
Run 3	10	-221697	134375	59919	27836	-45087	52103	-102763	96790
Run 4	15	-216610	132499	53738	30806	-44359	51376	-108582	102609
Run 5	20	-211107	130863	47095	33582	-43725	50742	-113656	107683
Run 6	25	-205244	129488	40057	36131	-43192	50209	-117920	111948
Run 7	30	-199083	128396	32702	38419	-42768	49785	-121309	115336
Run 8	35	-192695	127609	25112	40407	-42463	49480	-123750	117777
Run 9	40	-186159	127152	17386	42053	-42286	49303	-125166	119193
Run 10	45	-179566	127056	9633	43310	-42249	49266	-125465	119492

Tabla 89. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando gamma con alfa=22.5

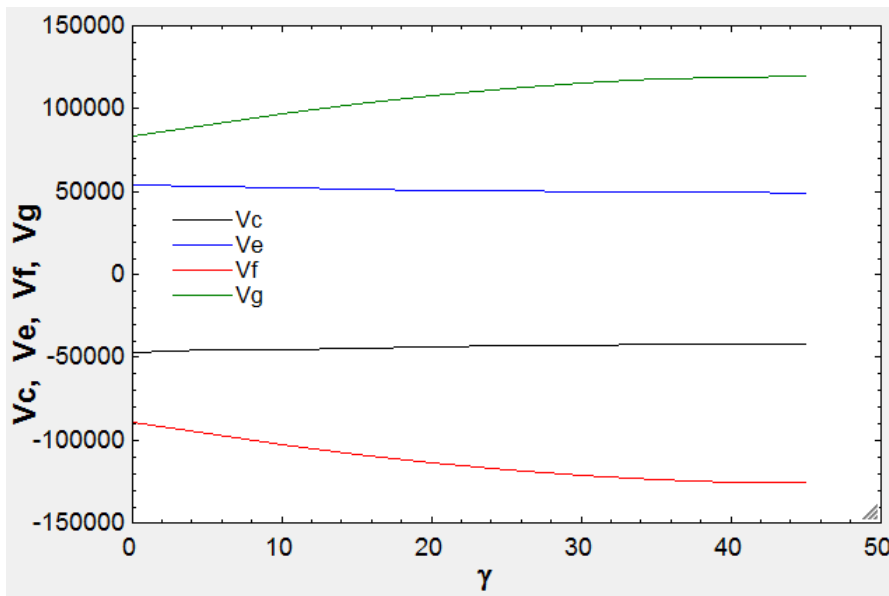


Fig 124. Gráfico de cortantes barra 1 variación de gama con alfa=22.5.

-Variación de gama con alfa=45

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$\gamma$	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg	
Run 1	0	-252893	139231	28509	85952	-30997	36368	-106736	102165	
Run 2	5	-248828	136942	21641	91044	-30399	35770	-111518	106947	
Run 3	10	-244207	134996	14433	95578	-29891	35261	-115586	111014	
Run 4	15	-239072	133410	6951	99511	-29477	34847	-118899	114328	
Run 5	20	-233471	132203	-732,5	102800	-29161	34532	-121422	116851	
Run 6	25	-227457	131391	-8538	105403	-28949	34320	-123119	118547	
Run 7	30	-221092	130990	-16380	107281	-28845	34215	-123956	119385	
Run 8	35	-214444	131016	-24163	108390	-28851	34222	-123901	119330	
Run 9	40	-207590	131487	-31782	108684	-28974	34345	-122918	118346	
Run 10	45	-200618	132422	-39114	108109	-29219	34589	-120965	116393	

Tabla 90. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando gama con alfa=45

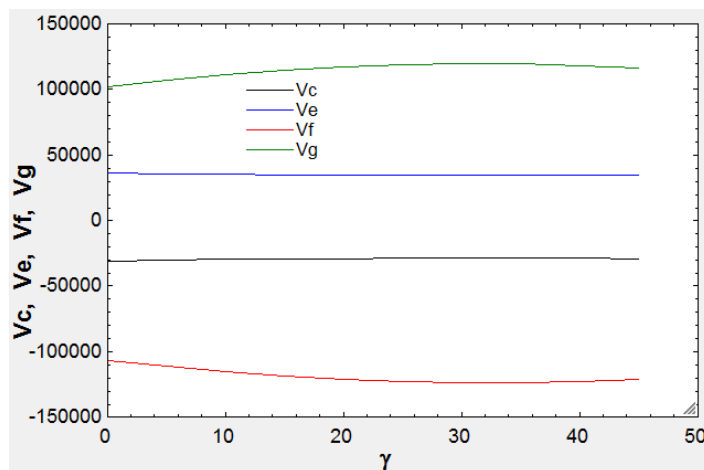


Fig 125. Gráfico de cortantes barra 1 variación de gama con alfa=45

**BARRA 2**

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=0

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8
	alfa	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI	
Run 1	0	102147	-106648	4502	-49535	55315	-2730	
Run 2	5	100236	-104738	4502	-49535	55315	-2730	
Run 3	10	98495	-102997	4502	-49535	55315	-2730	
Run 4	15	96927	-101428	4502	-49535	55315	-2730	
Run 5	20	95532	-100034	4502	-49535	55315	-2730	
Run 6	25	94311	-98813	4502	-49535	55315	-2730	
Run 7	30	93262	-97764	4502	-49535	55315	-2730	
Run 8	35	92385	-96887	4502	-49535	55315	-2730	
Run 9	40	91675	-96177	4502	-49535	55315	-2730	
Run 10	45	91131	-95633	4502	-49535	55315	-2730	

Tabla 91. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando alfa con gamma=0

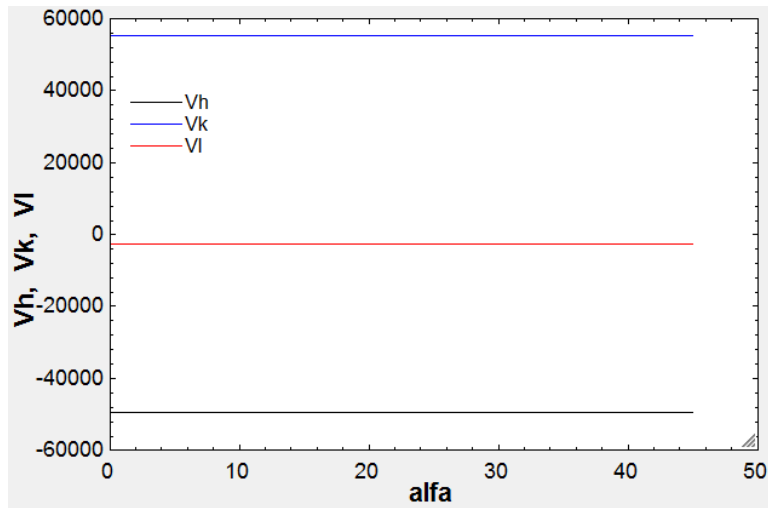


Fig 126. Gráfico de cortantes barra 2 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=22.5

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8
	alfa	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI	
Run 1	0	111143	-118228	5917	-45764	51104	-2522	
Run 2	5	109580	-116664	5917	-45764	51104	-2522	
Run 3	10	108222	-115307	5917	-45764	51104	-2522	
Run 4	15	107067	-114152	5917	-45764	51104	-2522	
Run 5	20	106113	-113197	5917	-45764	51104	-2522	
Run 6	25	105354	-112439	5917	-45764	51104	-2522	
Run 7	30	104788	-111873	5917	-45764	51104	-2522	
Run 8	35	104411	-111495	5917	-45764	51104	-2522	
Run 9	40	104218	-111303	5917	-45764	51104	-2522	
Run 10	45	104206	-111291	5917	-45764	51104	-2522	

Tabla 92. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando alfa con gamma=22.5

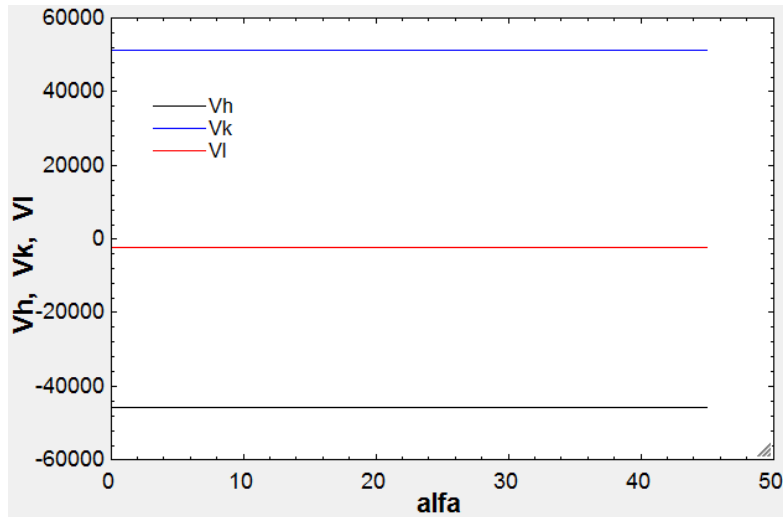


Fig 127. Gráfico de cortantes barra 2 variación de alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=45

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8
	alfa	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI	
Run 1	0	112450	-122904	8297	-35027	39114	-1930	
Run 2	5	111288	-121741	8297	-35027	39114	-1930	
Run 3	10	110375	-120829	8297	-35027	39114	-1930	
Run 4	15	109707	-120160	8297	-35027	39114	-1930	
Run 5	20	109276	-119729	8297	-35027	39114	-1930	
Run 6	25	109077	-119530	8297	-35027	39114	-1930	
Run 7	30	109104	-119558	8297	-35027	39114	-1930	
Run 8	35	109355	-119809	8297	-35027	39114	-1930	
Run 9	40	109825	-120278	8297	-35027	39114	-1930	
Run 10	45	110511	-120965	8297	-35027	39114	-1930	

Tabla 93. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando alfa con gamma=45

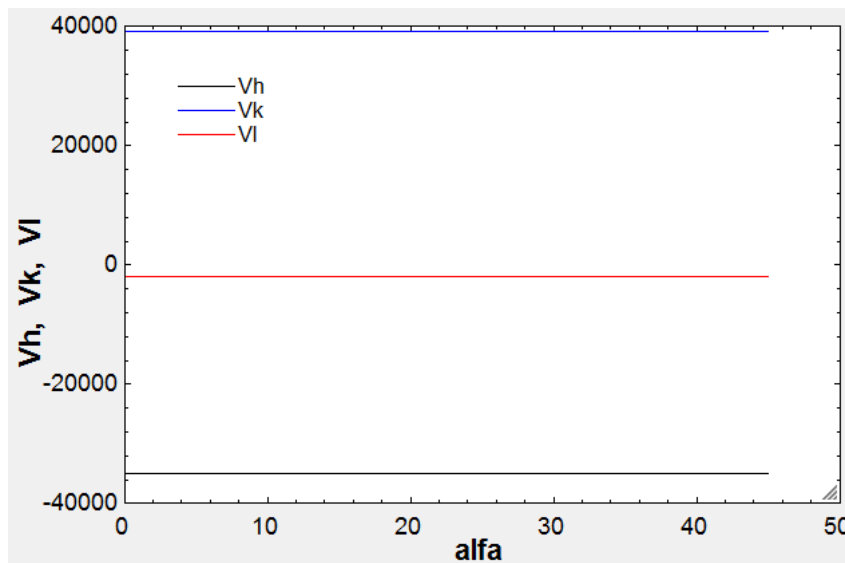


Fig 128. Gráfico de cortantes barra 2 variación de alfa con gamma=45

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=0

1..10	$\gamma$	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI
Run 1	0	102147	-106648	4502	-49535	55315	-2730
Run 2	5	104440	-109463	4757	-49347	55105	-2720
Run 3	10	106621	-112196	5045	-48782	54475	-2689
Run 4	15	108624	-114780	5367	-47847	53430	-2637
Run 5	20	110380	-117148	5724	-46548	51979	-2565
Run 6	25	111816	-119226	6121	-44894	50132	-2474
Run 7	30	112848	-120936	6563	-42899	47904	-2364
Run 8	35	113379	-122190	7062	-40577	45311	-2236
Run 9	40	113295	-122887	7631	-37946	42374	-2091
Run 10	45	112450	-122904	8297	-35027	39114	-1930

Tabla 94. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando gamma con alfa=0

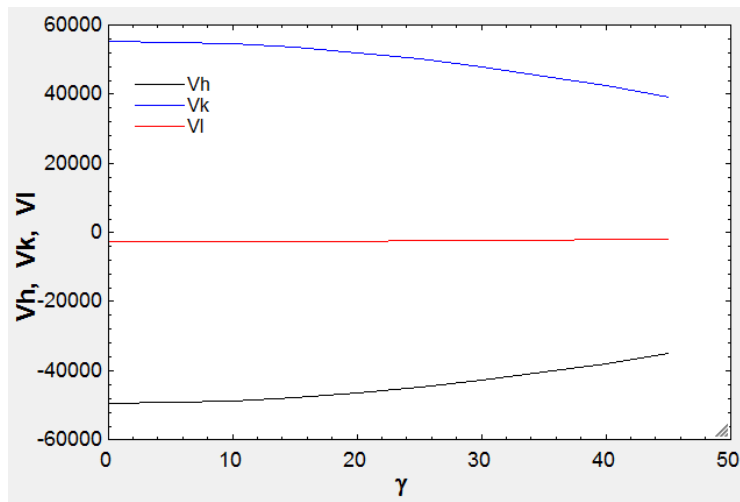


Fig 129. Gráfico de cortantes barra 2 variación de gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=22.5

1..10	$\gamma$	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI
Run 1	0	94900	-99402	4502	-49535	55315	-2730
Run 2	5	97596	-102619	4757	-49347	55105	-2720
Run 3	10	100175	-105750	5045	-48782	54475	-2689
Run 4	15	102577	-108733	5367	-47847	53430	-2637
Run 5	20	104739	-111507	5724	-46548	51979	-2565
Run 6	25	106593	-114002	6121	-44894	50132	-2474
Run 7	30	108060	-116148	6563	-42899	47904	-2364
Run 8	35	109052	-117863	7062	-40577	45311	-2236
Run 9	40	109459	-119051	7631	-37946	42374	-2091
Run 10	45	109147	-119601	8297	-35027	39114	-1930

Tabla 95. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando gamma con alfa=22.5

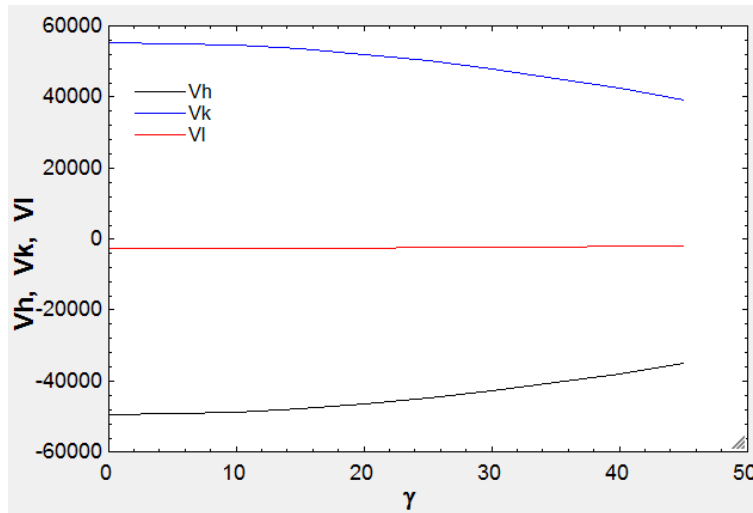


Fig 130. Gráfico de cortantes barra 2 variación de gamma con alfa=22.5

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=45

Run	$\gamma$	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI
Run 1	0	91131	-95633	4502	-49535	55315	-2730
Run 2	5	94315	-99338	4757	-49347	55105	-2720
Run 3	10	97385	-102960	5045	-48782	54475	-2689
Run 4	15	100289	-106445	5367	-47847	53430	-2637
Run 5	20	102969	-109736	5724	-46548	51979	-2565
Run 6	25	105364	-112774	6121	-44894	50132	-2474
Run 7	30	107405	-115493	6563	-42899	47904	-2364
Run 8	35	109012	-117823	7062	-40577	45311	-2236
Run 9	40	110088	-119680	7631	-37946	42374	-2091
Run 10	45	110511	-120965	8297	-35027	39114	-1930

Tabla 96. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando gamma con alfa=45

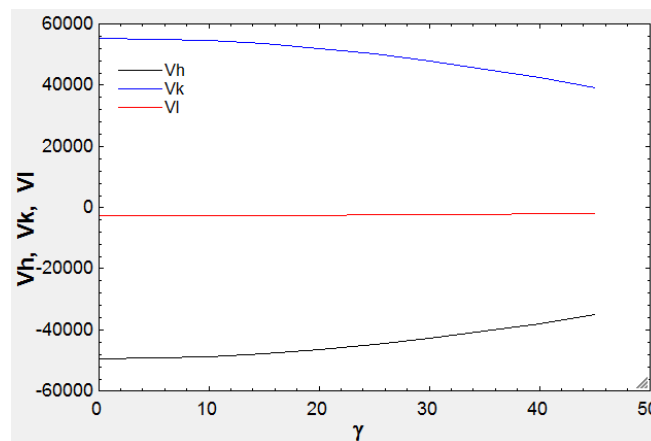


Fig 131. Gráfico de cortantes barra 2 variación de gamma con alfa=45

**BARRA 3**

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=0

1..10	1 alfa	2 Nj	3 Nm	4 Vj	5 Vm
Run 1	0	4502	-4502	230	230
Run 2	5	4502	-4502	230	230
Run 3	10	4502	-4502	230	230
Run 4	15	4502	-4502	230	230
Run 5	20	4502	-4502	230	230
Run 6	25	4502	-4502	230	230
Run 7	30	4502	-4502	230	230
Run 8	35	4502	-4502	230	230
Run 9	40	4502	-4502	230	230
Run 10	45	4502	-4502	230	230

Tabla 97. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando alfa con gamma=0

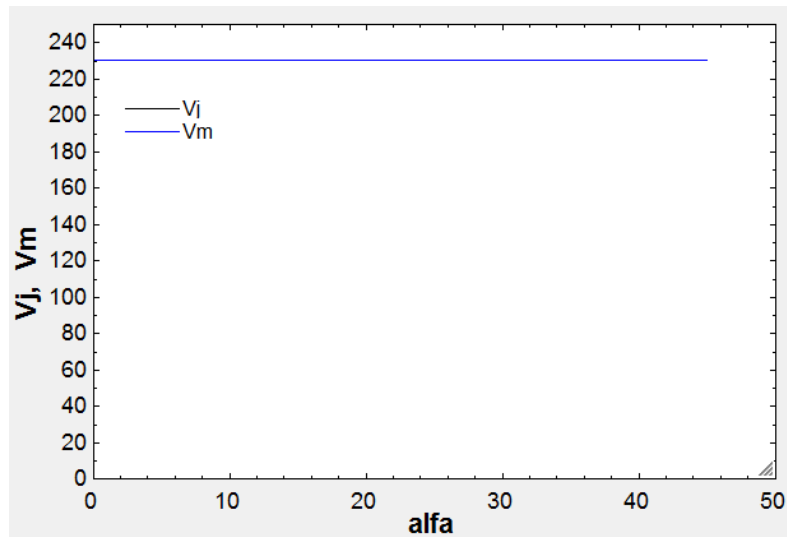


Fig 132. Gráfico de cortantes barra 3 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=22.5

1..10	1 alfa	2 Nj	3 Nm	4 Vj	5 Vm
Run 1	0	4785	-4961	212,5	212,5
Run 2	5	4785	-4961	212,5	212,5
Run 3	10	4785	-4961	212,5	212,5
Run 4	15	4785	-4961	212,5	212,5
Run 5	20	4785	-4961	212,5	212,5
Run 6	25	4785	-4961	212,5	212,5
Run 7	30	4785	-4961	212,5	212,5
Run 8	35	4785	-4961	212,5	212,5
Run 9	40	4785	-4961	212,5	212,5
Run 10	45	4785	-4961	212,5	212,5

Tabla 98. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando alfa con gamma=22.5



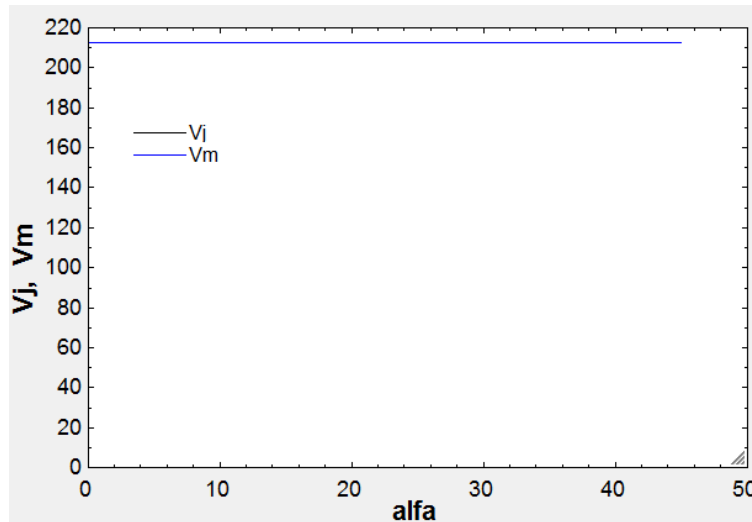


Fig 133. Gráfico de cortantes barra 3 variación de alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=45

1..10	1 alfa	2 Nj	3 Nm	4 Vj	5 Vm
Run 1	0	6204	-6529	162,6	162,6
Run 2	5	6204	-6529	162,6	162,6
Run 3	10	6204	-6529	162,6	162,6
Run 4	15	6204	-6529	162,6	162,6
Run 5	20	6204	-6529	162,6	162,6
Run 6	25	6204	-6529	162,6	162,6
Run 7	30	6204	-6529	162,6	162,6
Run 8	35	6204	-6529	162,6	162,6
Run 9	40	6204	-6529	162,6	162,6
Run 10	45	6204	-6529	162,6	162,6

Tabla 99. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando alfa con gamma=45

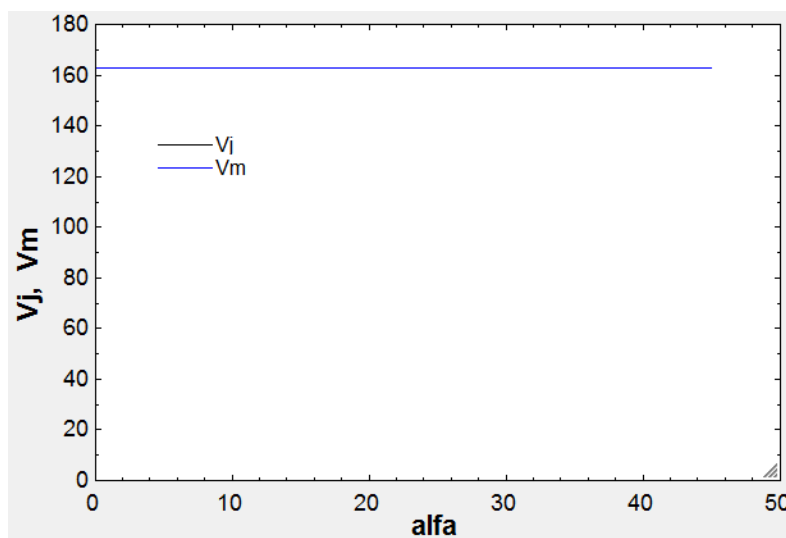


Fig 134. Gráfico de cortantes barra 3 variación de alfa con gamma=45

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=0

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	Nj	Nm	Vj	Vm
Run 1	0	4502	-4502	230	230
Run 2	5	4499	-4539	229,1	229,1
Run 3	10	4531	-4611	226,5	226,5
Run 4	15	4601	-4720	222,2	222,2
Run 5	20	4712	-4869	216,1	216,1
Run 6	25	4870	-5064	208,5	208,5
Run 7	30	5083	-5313	199,2	199,2
Run 8	35	5364	-5628	188,4	188,4
Run 9	40	5729	-6025	176,2	176,2
<b>Run 10</b>	45	6204	-6529	162,6	162,6

Tabla 100. tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando gamma con alfa=0

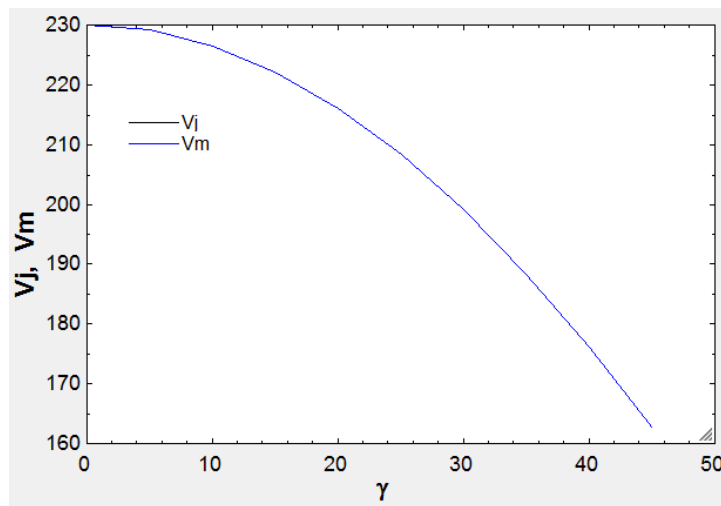


Fig 135. Gráfico de cortantes barra 3 variación de gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=22.5

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	Nj	Nm	Vj	Vm
Run 1	0	4502	-4502	230	230
Run 2	5	4499	-4539	229,1	229,1
Run 3	10	4531	-4611	226,5	226,5
Run 4	15	4601	-4720	222,2	222,2
Run 5	20	4712	-4869	216,1	216,1
Run 6	25	4870	-5064	208,5	208,5
Run 7	30	5083	-5313	199,2	199,2
Run 8	35	5364	-5628	188,4	188,4
Run 9	40	5729	-6025	176,2	176,2
<b>Run 10</b>	45	6204	-6529	162,6	162,6

Tabla 101. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando gamma con alfa=22.5

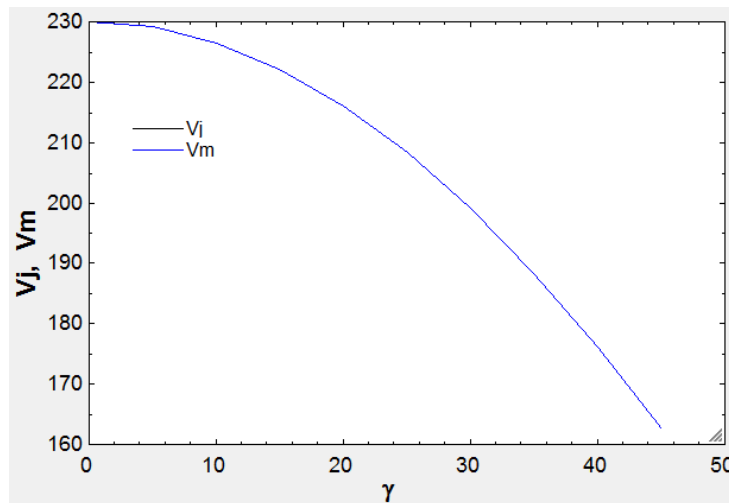


Fig 136. Gráfico de cortantes barra 3 variación de gamma con  $\alpha=22.5$

-Variación de gamma entre 0 y 45° con  $\alpha=45$

	1	2	3	4	5	
	$\gamma$	$N_j$	$N_m$	$V_j$	$V_m$	
Run 1	0	4502	-4502	230	230	
Run 2	5	4499	-4539	229,1	229,1	
Run 3	10	4531	-4611	226,5	226,5	
Run 4	15	4601	-4720	222,2	222,2	
Run 5	20	4712	-4869	216,1	216,1	
Run 6	25	4870	-5064	208,5	208,5	
Run 7	30	5083	-5313	199,2	199,2	
Run 8	35	5364	-5628	188,4	188,4	
Run 9	40	5729	-6025	176,2	176,2	
Run 10	45	6204	-6529	162,6	162,6	

Tabla 102. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando gamma con  $\alpha=45$

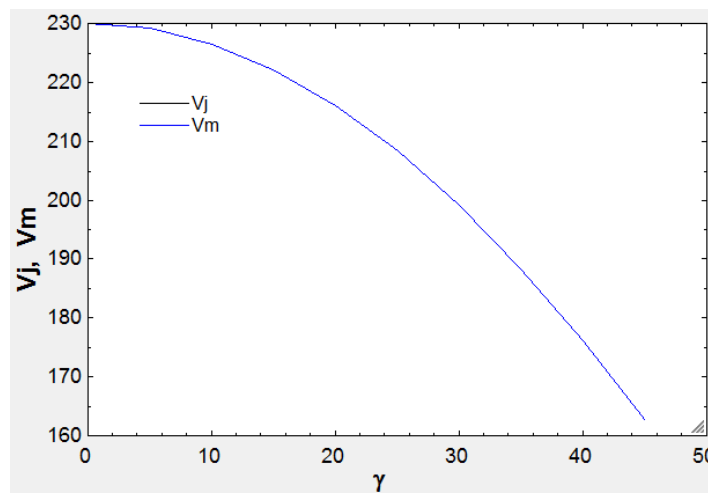


Fig 137. Gráfico de cortantes barra 3 variación de gamma con  $\alpha=45$

**BARRA 4**

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=0

1..10	1	2	3	4	5
	alfa	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	93549	-93549	195	195
Run 2	5	92290	-92256	194,3	194,3
Run 3	10	91869	-91801	192	192
Run 4	15	92298	-92197	188,4	188,4
Run 5	20	93625	-93492	183,2	183,2
Run 6	25	95940	-95775	176,7	176,7
Run 7	30	99383	-99188	168,9	168,9
Run 8	35	104166	-103943	159,7	159,7
Run 9	40	110605	-110354	149,4	149,4
Run 10	45	119171	-118895	137,9	137,9

Tabla 103. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando alfa con gamma=0

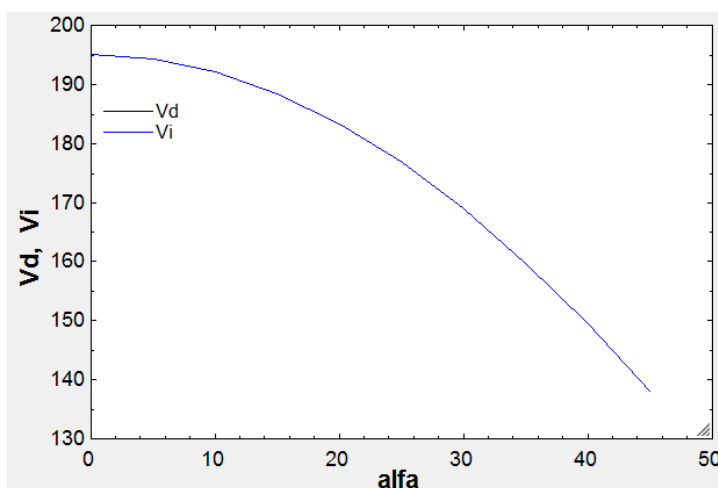


Fig 138. Gráfico de cortantes barra 4 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=22.5

1..10	1	2	3	4	5
	alfa	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	79093	-79093	195	195
Run 2	5	78177	-78143	194,3	194,3
Run 3	10	78013	-77946	192	192
Run 4	15	78614	-78513	188,4	188,4
Run 5	20	80024	-79890	183,2	183,2
Run 6	25	82326	-82162	176,7	176,7
Run 7	30	85653	-85458	168,9	168,9
Run 8	35	90201	-89977	159,7	159,7
Run 9	40	96262	-96011	149,4	149,4
Run 10	45	104274	-103998	137,9	137,9

Tabla 104. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando alfa con gamma=22.5

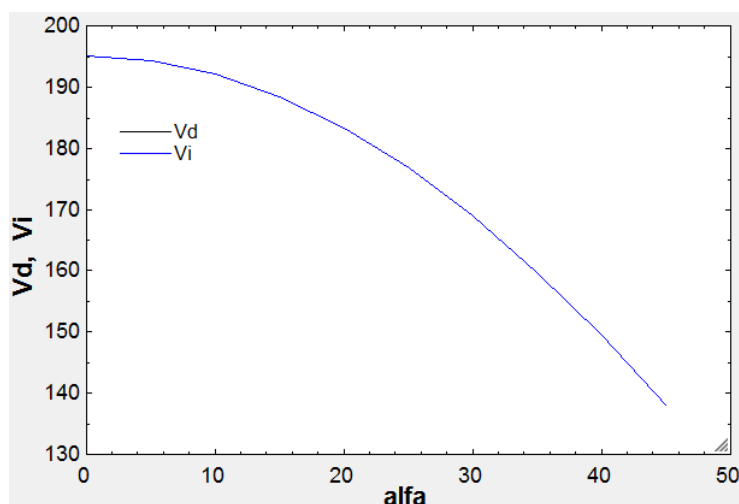


Fig 139. Gráfico de cortantes barra 4 variación de alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=45

1	2	3	4	5	
1.10	alfa	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	53187	-53187	195	195
Run 2	5	52705	-52671	194,3	194,3
Run 3	10	52773	-52705	192	192
Run 4	15	53404	-53303	188,4	188,4
Run 5	20	54633	-54500	183,2	183,2
Run 6	25	56527	-56362	176,7	176,7
Run 7	30	59187	-58992	168,9	168,9
Run 8	35	62766	-62543	159,7	159,7
Run 9	40	67493	-67242	149,4	149,4
Run 10	45	73705	-73429	137,9	137,9

Tabla 105. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando alfa con gamma=45

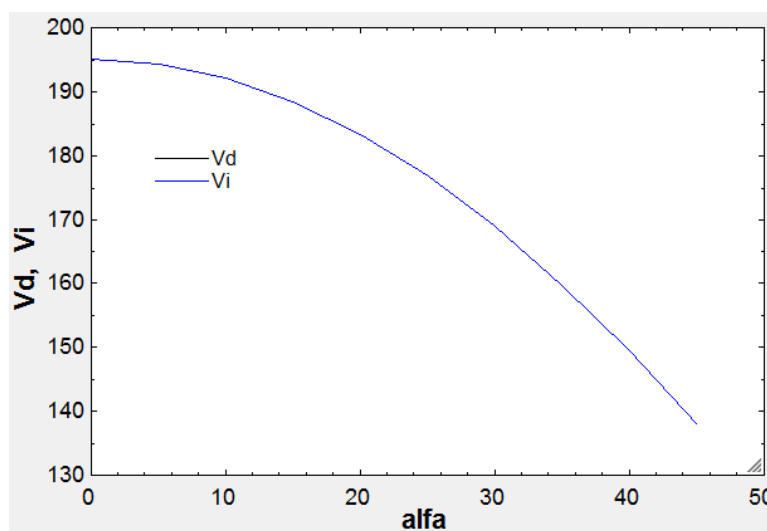


Fig 140. Gráfico de cortantes barra 4 variación de alfa con gamma=45

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=0

1..10	$\gamma$	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	93549	-93549	195	195
Run 2	5	91501	-91501	195	195
Run 3	10	88766	-88766	195	195
Run 4	15	85368	-85368	195	195
Run 5	20	81335	-81335	195	195
Run 6	25	76706	-76706	195	195
Run 7	30	71523	-71523	195	195
Run 8	35	65836	-65836	195	195
Run 9	40	59702	-59702	195	195
Run 10	45	53187	-53187	195	195

Tabla 106. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando gamma con alfa=0

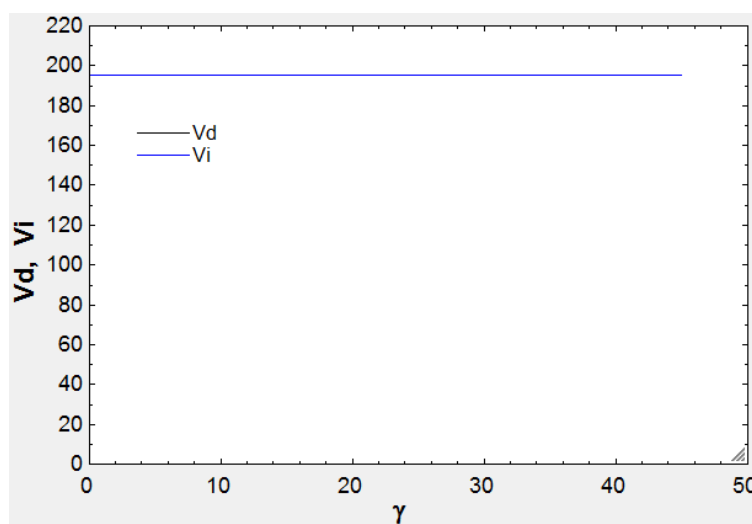


Fig 141. Gráfico de cortantes barra 4 variación de gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=22.5

1..10	$\gamma$	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	94652	-94503	180,2	180,2
Run 2	5	92831	-92682	180,2	180,2
Run 3	10	90304	-90154	180,2	180,2
Run 4	15	87093	-86943	180,2	180,2
Run 5	20	83226	-83076	180,2	180,2
Run 6	25	78737	-78588	180,2	180,2
Run 7	30	73669	-73520	180,2	180,2
Run 8	35	68067	-67918	180,2	180,2
Run 9	40	61988	-61838	180,2	180,2
Run 10	45	55492	-55342	180,2	180,2

Tabla 107. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando gamma con alfa=22.5

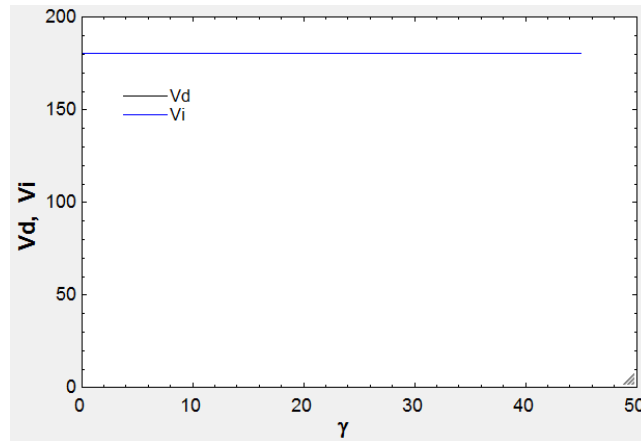


Fig 142. Gráfico de cortantes barra 4 variación de gamma con alfa=22.5

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=45

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	119171	-118895	137,9	137,9
Run 2	5	117394	-117118	137,9	137,9
Run 3	10	114720	-114444	137,9	137,9
Run 4	15	111171	-110895	137,9	137,9
Run 5	20	106776	-106501	137,9	137,9
Run 6	25	101575	-101299	137,9	137,9
Run 7	30	95610	-95335	137,9	137,9
Run 8	35	88936	-88660	137,9	137,9
Run 9	40	81611	-81335	137,9	137,9
<b>Run 10</b>	45	73705	-73429	137,9	137,9

Tabla 108. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando gamma con alfa=45

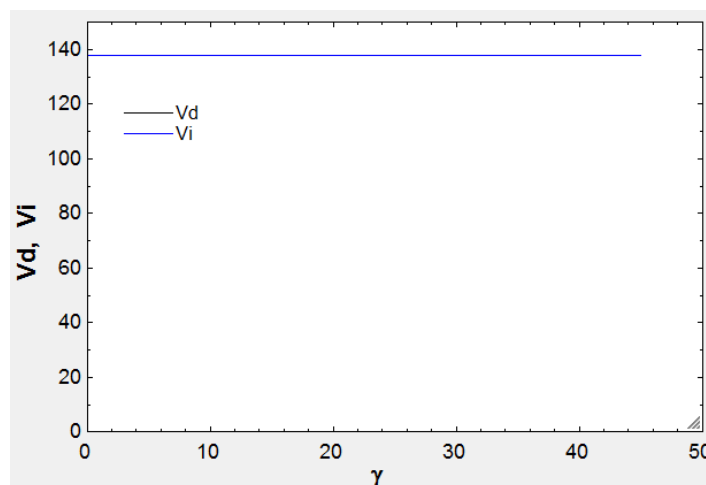


Fig 143. Gráfico de cortantes barra 4 variación de gamma con alfa=45

**BARRA 5**

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=0

1..10	1 alfa	2 ResultanteG	3 ResultanteH	4 ResultanteI	5 ResultanteJ
Run 1	0	50576	113524	93549	4508
Run 2	5	58318	111808	92256	4508
Run 3	10	66003	110250	91801	4508
Run 4	15	73762	108851	92197	4508
Run 5	20	81752	107611	93492	4508
Run 6	25	90155	106528	95775	4508
Run 7	30	99195	105601	99188	4508
Run 8	35	109157	104827	103943	4508
Run 9	40	120420	104202	110355	4508
Run 10	45	133512	103724	118895	4508

Tabla 109. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=22.5

1..10	1 alfa	2 ResultanteG	3 ResultanteH	4 ResultanteI	5 ResultanteJ
Run 1	0	86641	120196	79093	4789
Run 2	5	92788	118752	78144	4789
Run 3	10	98941	117501	77946	4789
Run 4	15	105245	116438	78513	4789
Run 5	20	111853	115561	79891	4789
Run 6	25	118939	114865	82162	4789
Run 7	30	126711	114346	85458	4789
Run 8	35	135434	114000	89977	4789
Run 9	40	145457	113823	96011	4789
Run 10	45	157268	113812	103998	4789

Tabla 110. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=45

1..10	1 alfa	2 ResultanteG	3 ResultanteH	4 ResultanteI	5 ResultanteJ
Run 1	0	108268	117779	53188	6206
Run 2	5	112026	116670	52671	6206
Run 3	10	115937	115800	52706	6206
Run 4	15	120106	115163	53303	6206
Run 5	20	124649	114752	54500	6206
Run 6	25	129693	114562	56362	6206
Run 7	30	135398	114589	58992	6206
Run 8	35	141963	114828	62543	6206
Run 9	40	149657	115275	67242	6206
Run 10	45	158855	115929	73429	6206

Tabla 111. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando alfa con gamma=45



-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=0

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	ResultanteG	ResultanteH	ResultanteI	ResultanteJ
Run 1	0	50576	113524	93549	4508
Run 2	5	59354	115511	91501	4505
Run 3	10	67784	117251	88766	4537
Run 4	15	75757	118695	85368	4606
Run 5	20	83173	119793	81335	4717
Run 6	25	89933	120492	76706	4874
Run 7	30	95937	120726	71523	5087
Run 8	35	101076	120421	65836	5367
Run 9	40	105232	119481	59702	5732
Run 10	45	108268	117779	53188	6206

Tabla 112. Resultante de las reacciones en cada uno de os nudos de la barra 5 variando gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=22.5

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	ResultanteG	ResultanteH	ResultanteI	ResultanteJ
Run 1	0	85889	107050	94503	4508
Run 2	5	93608	109362	92682	4505
Run 3	10	100713	111421	90155	4537
Run 4	15	107134	113187	86943	4606
Run 5	20	112798	114617	83077	4717
Run 6	25	117634	115661	78588	4874
Run 7	30	121566	116264	73520	5087
Run 8	35	124516	116356	67918	5367
Run 9	40	126394	115850	61839	5732
Run 10	45	127099	114630	55343	6206

Tabla 113. Resultante de las reacciones en cada uno de os nudos de la barra 5 variando gamma con alfa=22.5

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=45

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	ResultanteG	ResultanteH	ResultanteI	ResultanteJ
Run 1	0	133512	103724	118895	4508
Run 2	5	140451	106445	117118	4505
Run 3	10	146490	108920	114444	4537
Run 4	15	151569	111118	110895	4606
Run 5	20	155634	113001	106501	4717
Run 6	25	158630	114529	101299	4874
Run 7	30	160505	115655	95335	5087
Run 8	35	161208	116319	88660	5367
Run 9	40	160680	116444	81336	5732
Run 10	45	158855	115929	73429	6206

Tabla 114. Resultante de las reacciones en cada uno de os nudos de la barra 5 variando gamma con alfa=45

## ANEXO 3.3.2. CORTANTES MÁXIMOS

Observando las gráficas se ha buscado la posición en la que encontramos las mayores cargas en los nudos de cada una de las barras y posteriormente se ha seleccionado el valor máximo de los cortantes

**BARRA 1**

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	gamma=0	Vf	45	-106736
alfa	gamma=22,5°	Vf	45	-122376
alfa	gamma=45°	Vf	25	-125699
gamma	alfa=0	Vf	45	-114564
gamma	alfa=22,5°	Vf	45	-125465
gamma	alfa=45°	Vf	45	-120965

Tabla 115. Tabla de cortantes máximos de la barra 1

El cortante máximo en la barra 1 ha sido encontrado en gamma a 45° y alfa 25°.

**BARRA 2**

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	gamma=0	Vk	no varía	55315
alfa	gamma=22,5°	Vk	no varía	51104
alfa	gamma=45°	Vk	no varía	39114
gamma	alfa=0	Vk	0	55315
gamma	alfa=22,5°	Vk	0	55315
gamma	alfa=45°	Vk	0	55315

Tabla 116. Tabla de cortantes máximos de la barra 2

En la barra dos se ha encontrado varios valores que coinciden por lo que se ha elegido la posición en la que el axil es mayor dentro de los cortantes máximos. (-106648N)

**BARRA 3**

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	gamma=0	Vj=Vm	no varía	230
alfa	gamma=22,5°	Vj=Vm	no varía	212,5
alfa	gamma=45°	Vj=Vm	no varía	162,6
gamma	alfa=0	Vj=Vm	0	230
gamma	alfa=22,5°	Vj=Vm	0	230
gamma	alfa=45°	Vj=Vm	0	230

Tabla 117. Tabla de cortantes máximos de la barra 3

En la barra 3 se han encontrado varios valores que coinciden los cortantes máximos junto con los axiles por lo tanto se ha elegido cualquiera de las posiciones donde gamma forma 0° con la horizontal. (4502N)

**BARRA 4**

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor cortante [N]
alfa	gamma=0	Vd=Vi	0	195
alfa	gamma=22,5°	Vd=Vi	0	195
alfa	gamma=45°	Vd=Vi	0	195
gamma	alfa=0	Vd=Vi	no varia	195
gamma	alfa=22,5°	Vd=Vi	no varia	180,2
gamma	alfa=45°	Vd=Vi	no varia	137,9

Tabla 118. Tabla de cortantes máximos de la barra 4

En esta barra, como ha ocurrido en varias ocasiones, en varias posiciones de las barras coinciden los cortantes máximos por lo que se ha buscado el mayor axil dentro de estos cortantes máximos. (93549 N)

**BARRA 5**

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	gamma=0	G	45	133512
alfa	gamma=22,5°	G	45	157268
alfa	gamma=45°	G	45	158855
gamma	alfa=0	H	30	120726
gamma	alfa=22,5°	G	45	127099
gamma	alfa=45°	G	35	161208

Tabla 119. Tabla de resultantes máximas en la barra 5

Para la barra 5 se ha utilizado el valor máximo para calcularla a aplastamiento y obtener el grosor de las paredes.

## ANEXO 3.3.3. DIAGRAMAS DE ESFUERZOS

**BARRA 1**

-Flector

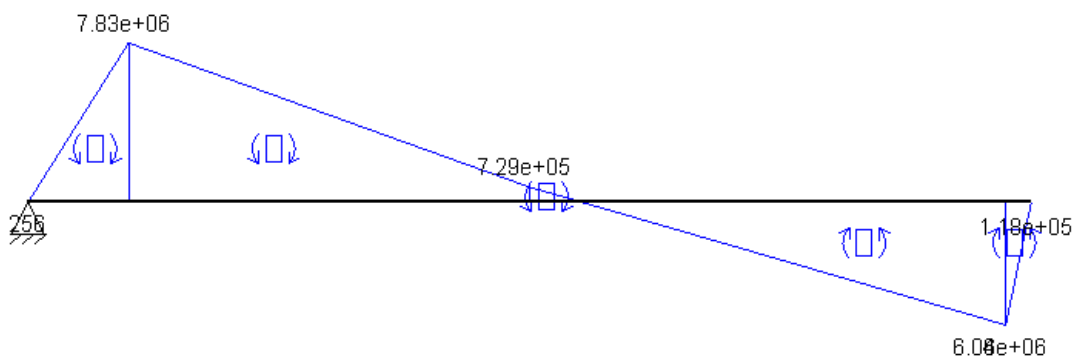


Fig 144. Esfuerzos flectores en la barra 1

-Axil

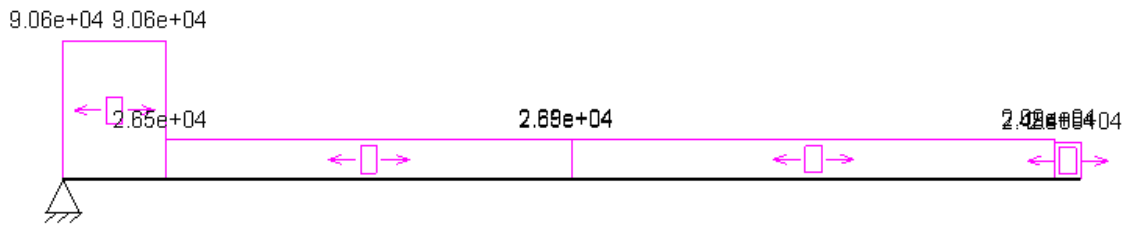


Fig 145. Esfuerzos axiles en la barra 1

**BARRA 2**

-Flector

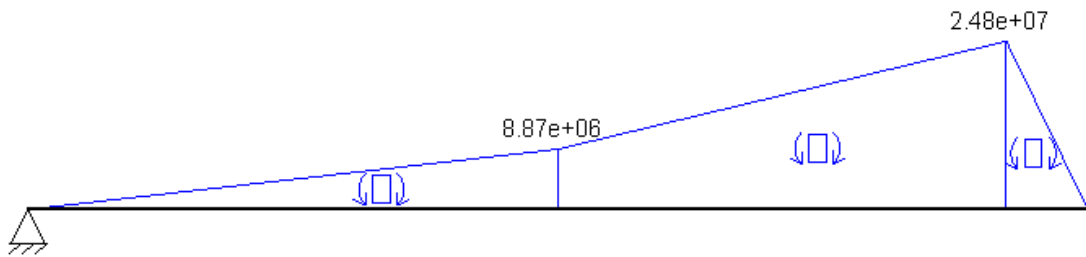


Fig 146. Esfuerzos flectores en la barra 2

-Axil

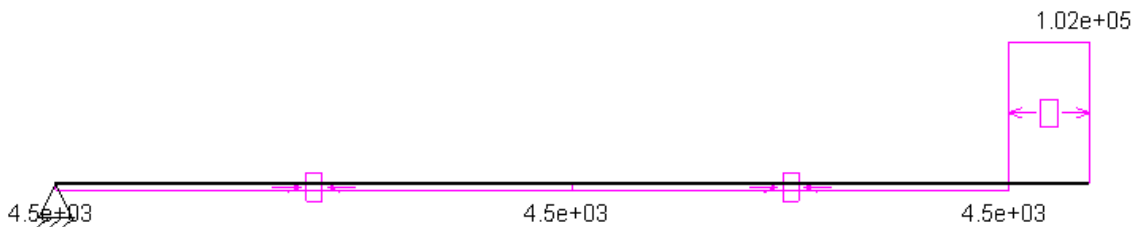


Fig 147. Esfuerzos axiles en la barra 2

**BARRA 3**

-Flector

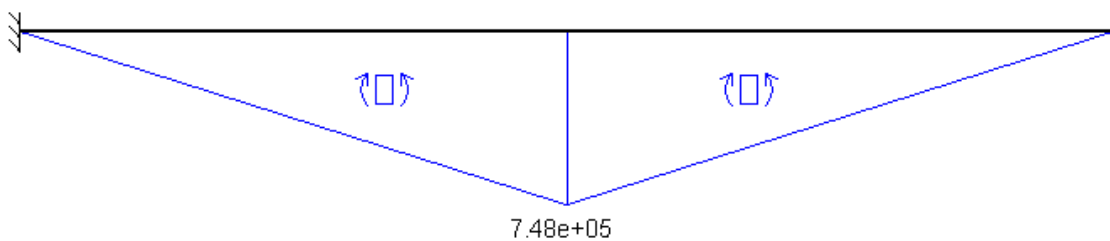


Fig 148. Esfuerzos flectores en la barra 3

-Axil

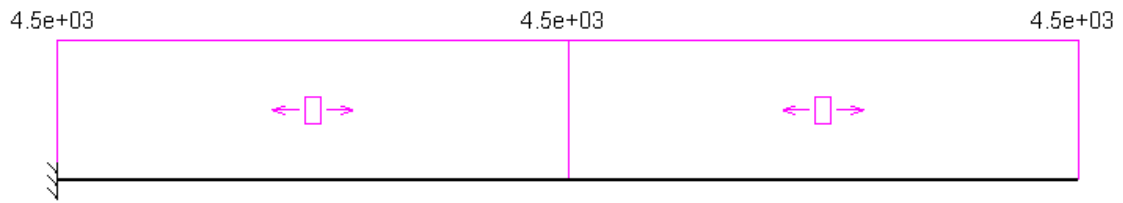


Fig 149. Esfuerzos axiles en la barra 3

**BARRA 4**

-Flector

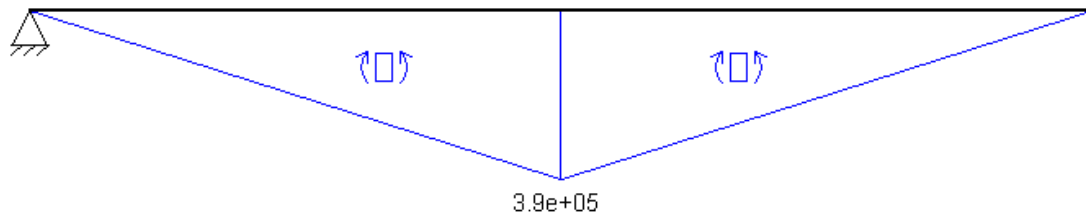


Fig 150. Esfuerzos flectores en la barra 4

-Axil

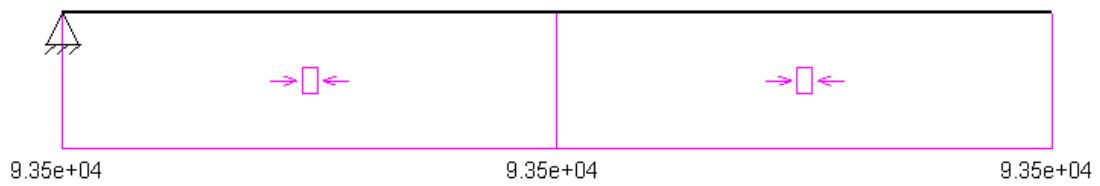


Fig 151. Esfuerzos axiles en la barra 4

**ANEXO 3.3.4. DIMENSIONADO DE LAS BARRAS**

El dimensionado de las barras, al igual que en todas las iteraciones, se ha basado en el teorema de cortante máximo (ANEXO 4) y se ha trabajado de la misma manera y con el mismo material.

**BARRA 1**

Mf,máx	7,83E+06	7,83E+06
$Wf=Mf/\sigma$ [mm <sup>3</sup> ]	6,19E+04	6,19E+04
Wf[cm <sup>3</sup> ]	61,85	61,85
Perfil elegido	120x80x12	120x100x8
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	69,8	86,8
Wf elegido[mm <sup>3</sup> ]	69800	86800
Área[cm <sup>2</sup> ]	36,1	30,4
Área[m <sup>2</sup> ]	0,00361	0,00304
Área[mm <sup>2</sup> ]	3610	3040
Longitud[m]	4	4
Volumen[m <sup>3</sup> ]	0,01444	0,01216
Peso[kg]	112,632	94,848
Axil [N]	9,06E+04	9,06E+04
$\sigma=N/A+Mf/Wf$	137,35	120,08
	$\sigma > \sigma_{adm}$ NO CUMPLE	$\sigma < \sigma_{adm}$ CUMPLE

Tabla 120. Tabla de selección de perfil de la barra 1

Comenzando la comprobación con el perfil que se calculó en el la iteración anterior y se ha obtenido que no cumple el teorema de cortante máximo por lo que se eligió un perfil distinto en el que se tiene mayor  $W_f$  con menor área.

**BARRA 2**

Mf,máx	2,48E+07
$Wf=Mf/\sigma$ [mm <sup>3</sup> ]	1,96E+05
Wf[cm <sup>3</sup> ]	195,53
Perfil elegido	160x140x12
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	228
Wf elegido[mm <sup>3</sup> ]	228000
Área[cm <sup>2</sup> ]	60,1
Área[m <sup>2</sup> ]	0,00601
Área[mm <sup>2</sup> ]	6010
Longitud[m]	6,5
Volumen[m <sup>3</sup> ]	0,039065
Peso[kg]	304,707
Axil [N]	1,02E+05
$\sigma=N/A+Mf/Wf$	125,62
	$\sigma < \sigma_{adm}$ CUMPLE

Tabla 121. Tabla de selección de perfil de la barra 2

En este caso, el perfil que se seleccionó en la iteración anterior sigue soportando las nuevas cargas, por lo tanto, no se ha requerido buscar otro perfil.

**BARRA 3**

Mf,máx	7,48E+05
Wf=Mf/σ [mm <sup>3</sup> ]	5,90E+03
Wf[cm <sup>3</sup> ]	5,90
Perfil elegido	34x34
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	6,55
Wf elegido[mm <sup>3</sup> ]	6550
Área[cm <sup>2</sup> ]	11,56
Área[m <sup>2</sup> ]	0,001156
Área[mm <sup>2</sup> ]	1156
Longitud[m]	6,5
Volumen[m <sup>3</sup> ]	0,007514
Peso[kg]	58,6092
Axil [N]	4,50E+03
σ=N/A+Mf/Wf	118,02
	σ<σadm CUMPLE

Tabla 122. Tabla de selección de perfil de la barra 3

Como el módulo resistente del perfil elegido en la iteración anterior no cumplía el mínimo que exige esta ocasión se ha decidido aumentar la sección.

**BARRA 4**

Mf,máx	3,90E+05	3,90E+05
Wf=Mf/σ [mm <sup>3</sup> ]	3,08E+03	3,08E+03
Wf[cm <sup>3</sup> ]	3,08	3,08
Perfil elegido	35x35	36x36
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	7,14	7,77
Wf elegido[mm <sup>3</sup> ]	7140	7770
Área[cm <sup>2</sup> ]	12,25	12,95
Área[m <sup>2</sup> ]	0,001225	0,001295
Área[mm <sup>2</sup> ]	1225	1295
Longitud[m]	4	4
Volumen[m <sup>3</sup> ]	0,0049	0,00518
Peso[kg]	38,22	40,404
Axil [N]	9,35E+04	9,35E+04
σ=N/A+Mf/Wf	130,99	122,43
	σ>σadm NO CUMPLE	σ<σadm CUMPLE

En la barra 4 se ha decidido aumentar la sección ya que el perfil elegido anteriormente no soporta las nuevas cargas.

**BARRA 5**

Para dimensionar la barra 5, al igual que en todos los casos, se ha hecho el cálculo por aplastamiento con el valor máximo en la barra 5 para obtener el grosor de sus paredes que, junto a la anchura de las barras elegidas, obtendremos la anchura total de esta barra y su peso propio.

**Cálculo a cortadura:**

Con este cálculo se ha obtenido el diámetro del pasador:

$$A_{cortadura} = \frac{\pi * d^2}{4} ; \quad \tau_{m\acute{a}x,adm} = \frac{\sigma_F}{2 * C_S} = \frac{380}{6} = 63.333 \text{ MPa}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{F/4}{A_c} = \frac{161208/4}{A_c} = 63.333 \rightarrow A_c = 636.38 \text{ mm}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * A_c}{\pi}} = 28.4 \approx 29 \text{ mm}$$

**Cálculo a aplastamiento:**

$$A_{aplastamiento} = d * e; \quad \tau_{m\acute{a}x,adm} = \frac{\sigma_F}{2 * C_S} = \frac{380}{6} = 63.333 \text{ MPa}; \quad \tau_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma}{2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x,adm} = 63,333 = \frac{161208/4}{2 * A_a} = \frac{161208/4}{2 * 29 * e} \rightarrow e = 10.9 \approx 11 \text{ mm}$$

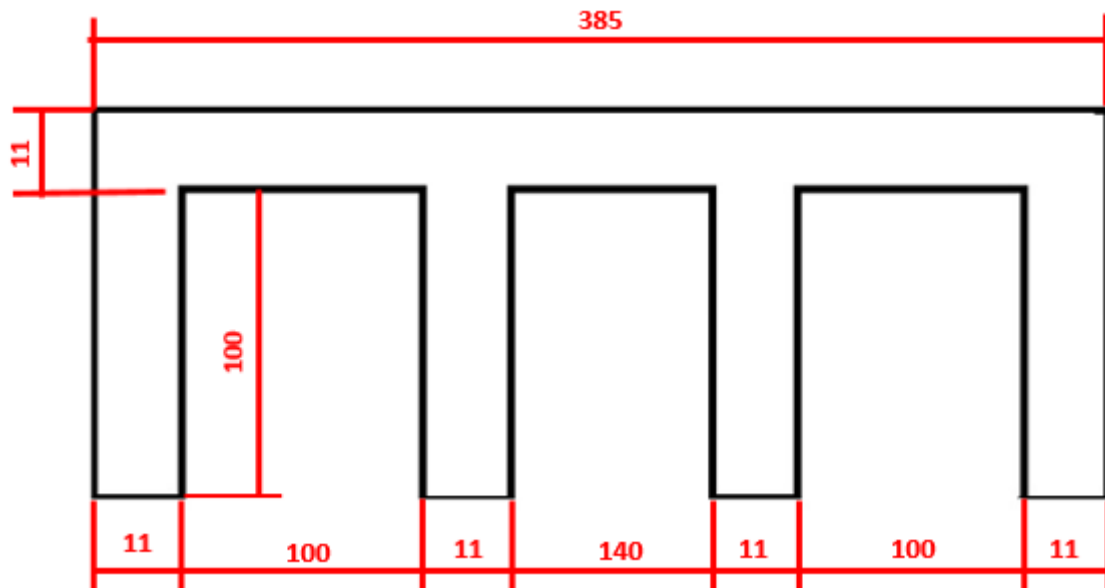


Fig 152. dimensiones de la barra 5 en la tercera iteración



$$\text{Área} = 8635 \text{ mm}^2$$

$$\text{Volumen} = \text{Área} * \text{Altura} = 3.45 * 10^6 \text{ mm}^3 = 0.00345 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso} = \text{Volumen} * \text{densidad} = 26.91 \approx 27 \text{ Kg}$$

Una vez obtenidas todos los perfiles y sus pesos se procedió a la siguiente iteración para comprobar si estos nuevos perfiles con las nuevas masas cumplen el coeficiente de seguridad.

#### ANEXO 3.4 VALORES DE LOS PARÁMETROS CUARTA ITERACIÓN

En esta iteración se ha trabajado de la misma manera, con los nuevos perfiles y las nuevas masas se ha comprado si la estructura soporta la carga, si no es así, volveremos a calcular perfiles nuevos.

Los nuevos valores aplicados a los parámetros de la estructura han sido:

Parámetro	longb1y4	longb2y3	longb5	d1cil1	d2cil1	d1cil2
Valor [mm]	4000	6500	400	200	400	50

Parámetro	d2cil2	Horejeta	Hcesta	Acesta	dHJ	dGI
Valor [mm]	500	500	1000	600	166,1	270,6

Parámetro	m1	m2	m3	m4	m5
Valor [Kg]	95	305	59	41	27

Tabla 123. valores de los parámetros de la cuarta iteración

#### ANEXO 3.4.1. REACCIONES EN LOS NUDOS SEGÚN LA POSICION

Aquí se han obtenido, en ejes locales, las reacciones de los distintos nudos de cada barra.

##### **BARRA 1**

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=0

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	alfa	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg	
Run 1	0	-223924	127760	108046	-11882	-56315	63880	-56160	49545	
Run 2	5	-225102	130905	100816	-6537	-54945	62481	-65195	58605	
Run 3	10	-226947	133853	93017	241,6	-53194	60644	-73428	66913	
Run 4	15	-229395	136518	84732	8390	-51071	58379	-80845	74455	
Run 5	20	-232406	138808	76039	17884	-48585	55694	-87440	81224	
Run 6	25	-235972	140618	67010	28745	-45749	52606	-93213	87218	
Run 7	30	-240122	141826	57714	41056	-42579	49130	-98169	92440	
Run 8	35	-244929	142285	48212	54977	-39091	45288	-102317	96898	
Run 9	40	-250534	141805	38562	70777	-35309	41104	-105669	100602	
Run 10	45	-257174	140136	28817	88893	-31255	36604	-108239	103562	

Tabla 124. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando alfa con gamma=0

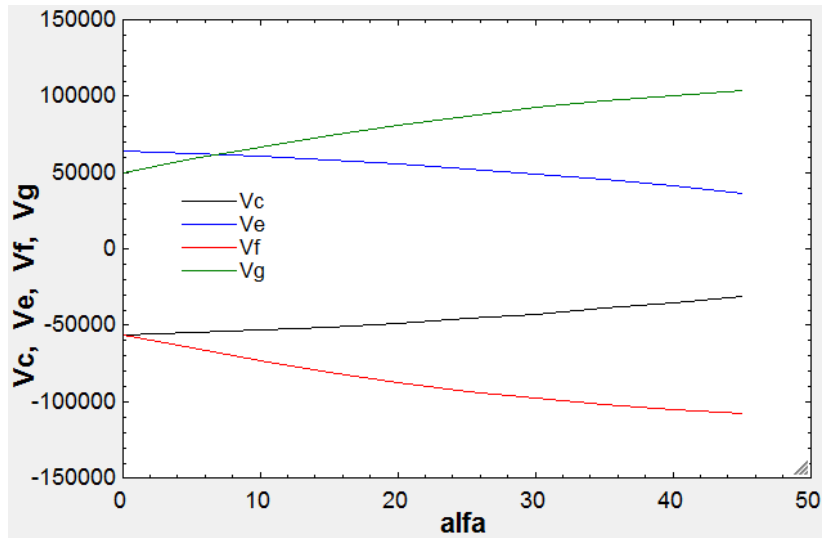


Fig 153. Gráfico de cortantes barra 1 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa con gamma gamma=22,5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	alfa	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg	
Run 1	0	-199662	118351	90862	-9552	-51610	59175	-93796	87181	
Run 2	5	-201320	121626	80940	-1162	-50515	58052	-100629	94039	
Run 3	10	-203568	124711	70703	8318	-49052	56503	-106562	100048	
Run 4	15	-206340	127526	60220	18839	-47226	54533	-111608	105219	
Run 5	20	-209598	129979	49552	30392	-45043	52152	-115780	109564	
Run 6	25	-213333	131971	38755	43009	-42514	49371	-119093	113098	
Run 7	30	-217567	133384	27880	56778	-39654	46206	-121564	115835	
Run 8	35	-222368	134080	16974	71859	-36480	42677	-123210	117791	
Run 9	40	-227863	133879	6081	88513	-33011	38806	-124049	118981	
Run 10	45	-234271	132547	-4758	107153	-29273	34622	-124096	119419	

Tabla 125. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando alfa con gamma=22.5

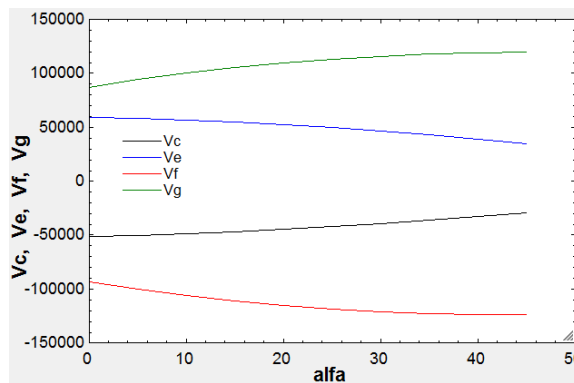


Fig 154. Gráfico de cortantes barra 1 variación de alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa con gamma=45

Run	alfa	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg
Run 1	0	-167423	112748	60048	-5372	-48809	56374	-116208	109593
Run 2	5	-170030	116527	48935	4651	-48082	55618	-120098	113508
Run 3	10	-173037	120135	37752	15315	-46979	54429	-123150	116636
Run 4	15	-176389	123498	26537	26599	-45504	52811	-125386	118997
Run 5	20	-180046	126537	15324	38509	-43662	50771	-126827	120611
Run 6	25	-183994	129164	4144	51088	-41465	48321	-127492	121496
Run 7	30	-188244	131280	-6976	64416	-38925	45477	-127396	121667
Run 8	35	-192840	132766	-18009	78627	-36062	42259	-126554	121135
Run 9	40	-197874	133479	-28929	93935	-32895	38690	-124977	119910
Run 10	45	-203510	133227	-39711	110666	-29450	34799	-122676	117999

Tabla 126. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando alfa con gamma=45

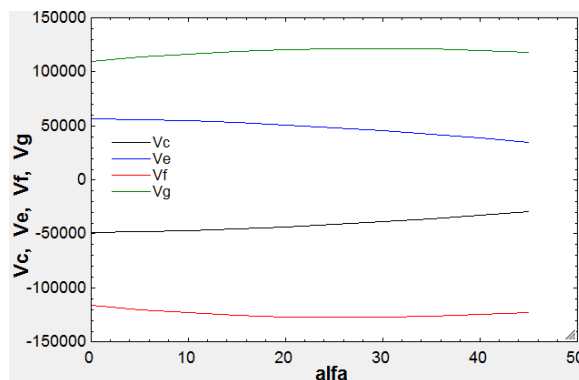


Fig 155. Gráfico de cortantes barra 1 variación de alfa con gamma=45

-Variación de gamma con alfa=0

Run	γ	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg
Run 1	0	-223924	127760	108046	-11882	-56315	63880	-56160	49545
Run 2	5	-219512	125450	105614	-11552	-55160	62725	-65400	58785
Run 3	10	-214500	123248	102364	-11111	-54059	61624	-74210	67595
Run 4	15	-208934	121174	98324	-10563	-53022	60587	-82506	75891
Run 5	20	-202865	119250	93529	-9913	-52060	59625	-90202	83587
Run 6	25	-196356	117498	88024	-9167	-51184	58749	-97206	90591
Run 7	30	-189473	115945	81859	-8331	-50407	57972	-103422	96807
Run 8	35	-182296	114615	75095	-7413	-49742	57307	-108742	102127
Run 9	40	-174912	113538	67798	-6424	-49204	56769	-113050	106435
Run 10	45	-167423	112748	60048	-5372	-48809	56374	-116208	109593

Tabla 127. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando gamma con alfa=0

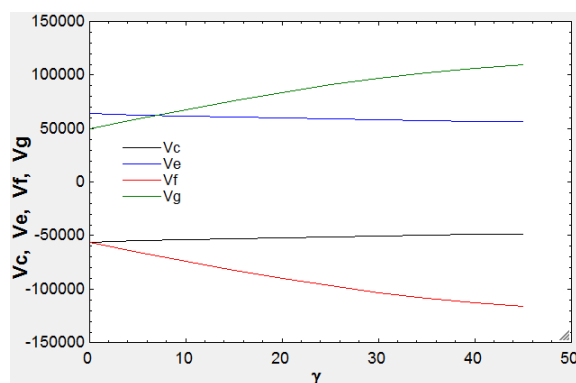


Fig 156. Gráfico de cortantes barra 1 variación de gamma con alfa=0

-Variación de gamma con alfa=22.5

1..10	$\gamma$	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg
Run 1	0	-234119	139780	71562	23140	-47210	54199	-90429	84318
Run 2	5	-229923	137454	66410	26422	-46308	53298	-97644	91532
Run 3	10	-225202	135330	60677	29558	-45485	52474	-104232	98121
Run 4	15	-220000	133429	54415	32519	-44748	51737	-110131	104019
Run 5	20	-214366	131771	47686	35274	-44105	51094	-115274	109163
Run 6	25	-208358	130377	40556	37789	-43564	50553	-119598	113487
Run 7	30	-202039	129269	33103	40030	-43135	50124	-123035	116923
Run 8	35	-195480	128471	25414	41959	-42825	49814	-125511	119400
Run 9	40	-188764	128007	17584	43536	-42645	49634	-126949	120838
Run 10	45	-181984	127908	9728	44711	-42607	49596	-127256	121144

Tabla 128. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando gamma con alfa=22.5

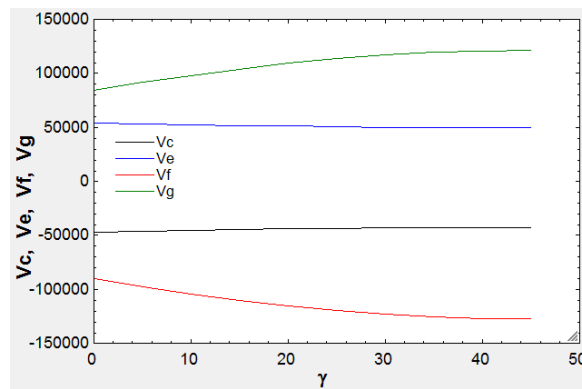


Fig 157. Gráfico de cortantes barra 1 variación de gama con alfa=22.5

-Variación de gamma con alfa=45

1..10	$\gamma$	Nc	Ne	Nf	Ng	Vc	Ve	Vf	Vg
Run 1	0	-257174	140136	28817	88893	-31255	36604	-108239	103562
Run 2	5	-253029	137816	21858	94027	-30649	35998	-113087	108409
Run 3	10	-248307	135842	14554	98582	-30133	35483	-117210	112533
Run 4	15	-243050	134235	6973	102514	-29713	35063	-120570	115893
Run 5	20	-237308	133010	-812,8	105782	-29394	34743	-123129	118451
Run 6	25	-231134	132186	-8723	108343	-29178	34528	-124850	120173
Run 7	30	-224593	131779	-16670	110156	-29072	34421	-125701	121024
Run 8	35	-217754	131805	-24558	111180	-29079	34428	-125648	120970
Run 9	40	-210696	132281	-32280	111367	-29203	34552	-124653	119976
Run 10	45	-203510	133227	-39711	110666	-29450	34799	-122676	117999

Tabla 129. Tabla de cortantes y axiles de la barra 1 variando gamma con alfa=45

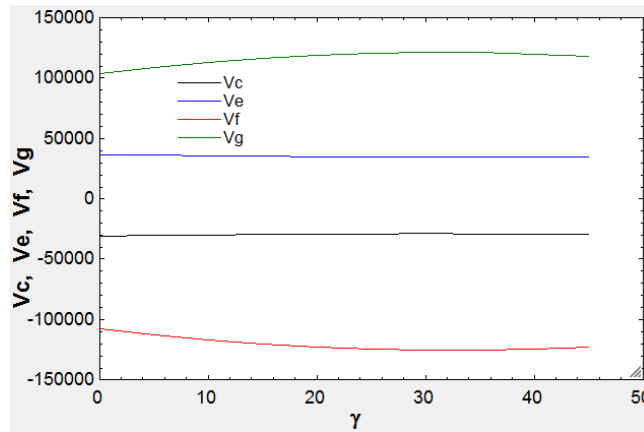


Fig 158. Gráfico de cortantes barra 1 variación de gama con alfa=45

**BARRA 2**

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=0

	1	2	3	4	5	6	7	8
	alfa	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI	
Run 1	0	103531	-108046	4515	-50315	56160	-2795	
Run 2	5	101599	-106115	4515	-50315	56160	-2795	
Run 3	10	99840	-104355	4515	-50315	56160	-2795	
Run 4	15	98254	-102769	4515	-50315	56160	-2795	
Run 5	20	96844	-101360	4515	-50315	56160	-2795	
Run 6	25	95610	-100125	4515	-50315	56160	-2795	
Run 7	30	94551	-99066	4515	-50315	56160	-2795	
Run 8	35	93664	-98179	4515	-50315	56160	-2795	
Run 9	40	92947	-97463	4515	-50315	56160	-2795	
Run 10	45	92398	-96913	4515	-50315	56160	-2795	

Tabla 130. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando alfa con gamma=0

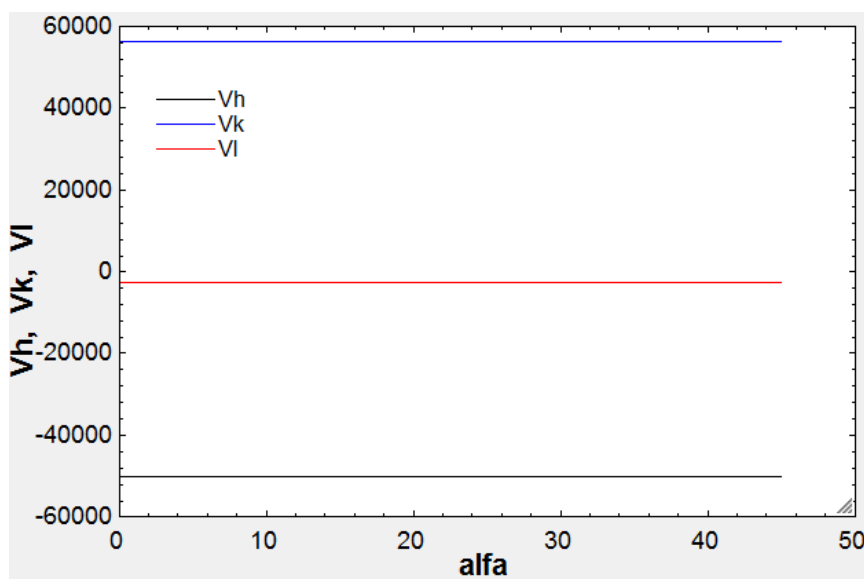


Fig 159. Gráfico de cortantes barra 2 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=22.5

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8
	alfa	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI	
Run 1	0	112716	-119840	5957	-46485	51885	-2582	
Run 2	5	111135	-118259	5957	-46485	51885	-2582	
Run 3	10	109762	-116886	5957	-46485	51885	-2582	
Run 4	15	108595	-115719	5957	-46485	51885	-2582	
Run 5	20	107630	-114754	5957	-46485	51885	-2582	
Run 6	25	106863	-113987	5957	-46485	51885	-2582	
Run 7	30	106291	-113415	5957	-46485	51885	-2582	
Run 8	35	105910	-113035	5957	-46485	51885	-2582	
Run 9	40	105716	-112841	5957	-46485	51885	-2582	
Run 10	45	105705	-112829	5957	-46485	51885	-2582	

Tabla 131. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando alfa con gamma=22.5

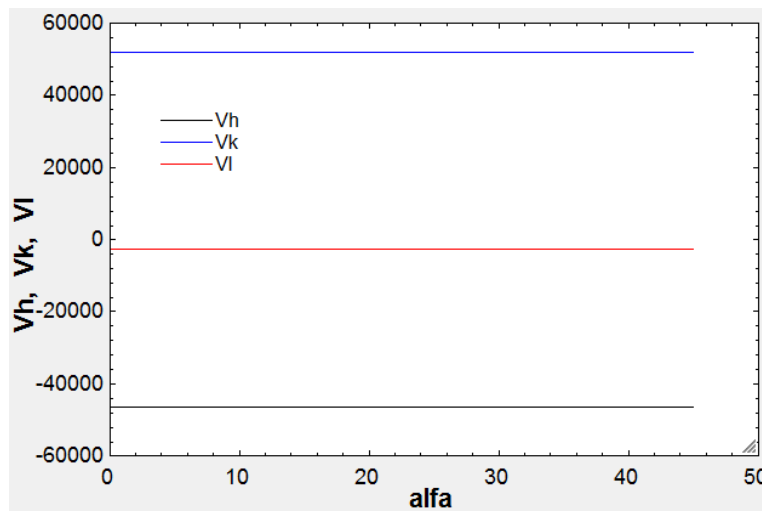


Fig 160. Gráfico de cortantes barra 2 variación de alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=45

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8
	alfa	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI	
Run 1	0	114113	-124631	8362	-35578	39711	-1976	
Run 2	5	112937	-123455	8362	-35578	39711	-1976	
Run 3	10	112014	-122533	8362	-35578	39711	-1976	
Run 4	15	111338	-121857	8362	-35578	39711	-1976	
Run 5	20	110902	-121421	8362	-35578	39711	-1976	
Run 6	25	110701	-121220	8362	-35578	39711	-1976	
Run 7	30	110731	-121249	8362	-35578	39711	-1976	
Run 8	35	110985	-121504	8362	-35578	39711	-1976	
Run 9	40	111462	-121980	8362	-35578	39711	-1976	
Run 10	45	112157	-122676	8362	-35578	39711	-1976	

Tabla 132. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando alfa con gamma=45

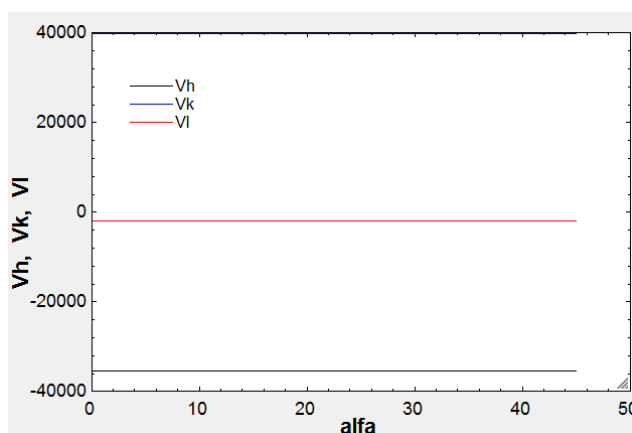


Fig 161. Gráfico de cortantes barra 2 variación de alfa con gamma=45

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=0

1..10	1	2	3	4	5	6	7	8
	$\gamma$	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI	
Run 1	0	103531	-108046	4515	-50315	56160	-2795	
Run 2	5	105870	-110912	4776	-50124	55946	-2784	
Run 3	10	108095	-113695	5070	-49551	55307	-2753	
Run 4	15	110140	-116327	5398	-48601	54246	-2700	
Run 5	20	111935	-118740	5761	-47281	52773	-2626	
Run 6	25	113406	-120858	6163	-45601	50898	-2533	
Run 7	30	114467	-122603	6611	-43574	48636	-2421	
Run 8	35	115021	-123886	7115	-41216	46004	-2290	
Run 9	40	114952	-124603	7691	-38544	43021	-2141	
Run 10	45	114113	-124631	8362	-35578	39711	-1976	

Tabla 133. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando gamma con alfa=0

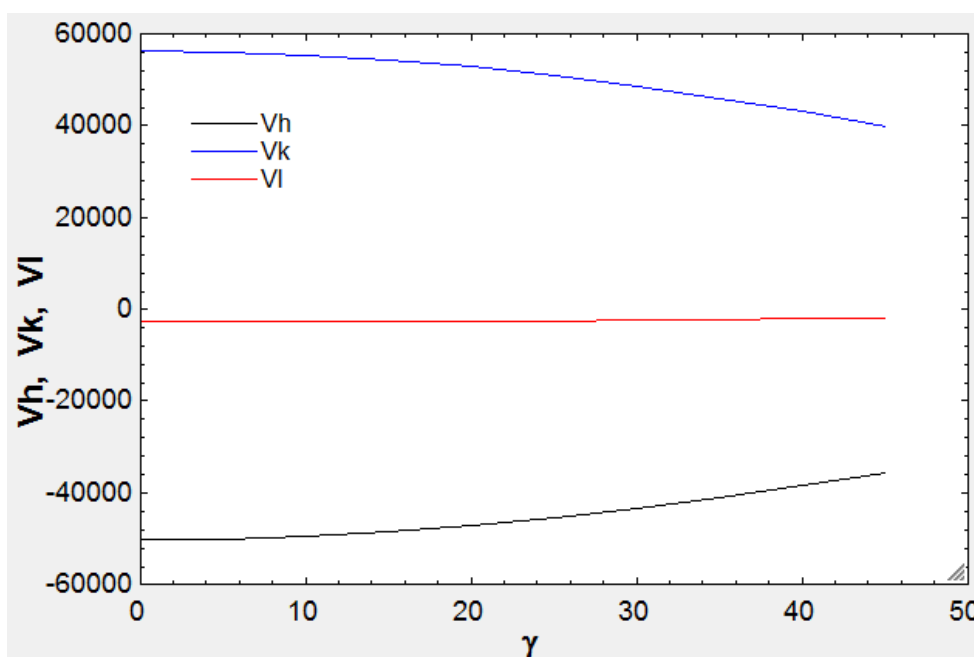


Fig 162. Gráfico de cortantes barra 2 variación de gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=22.5

1..10	$\gamma$	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI
Run 1	0	96205	-100721	4515	-50315	56160	-2795
Run 2	5	98951	-103993	4776	-50124	55946	-2784
Run 3	10	101578	-107178	5070	-49551	55307	-2753
Run 4	15	104026	-110214	5398	-48601	54246	-2700
Run 5	20	106232	-113036	5761	-47281	52773	-2626
Run 6	25	108124	-115576	6163	-45601	50898	-2533
Run 7	30	109626	-117762	6611	-43574	48636	-2421
Run 8	35	110645	-119510	7115	-41216	46004	-2290
Run 9	40	111073	-120725	7691	-38544	43021	-2141
Run 10	45	110773	-121292	8362	-35578	39711	-1976

Tabla 134. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando gamma con alfa=22.5

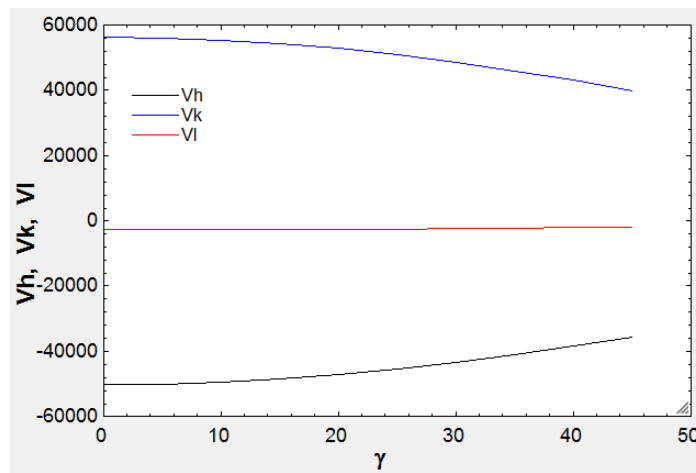


Fig 163. Gráfico de cortantes barra 2 variación de gamma con alfa=22.5

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=45

1..10	$\gamma$	Nh	Nk	NI	Vh	Vk	VI
Run 1	0	92398	-96913	4515	-50315	56160	-2795
Run 2	5	95637	-100680	4776	-50124	55946	-2784
Run 3	10	98761	-104361	5070	-49551	55307	-2753
Run 4	15	101716	-107903	5398	-48601	54246	-2700
Run 5	20	104445	-111249	5761	-47281	52773	-2626
Run 6	25	106885	-114338	6163	-45601	50898	-2533
Run 7	30	108967	-117104	6611	-43574	48636	-2421
Run 8	35	110609	-119474	7115	-41216	46004	-2290
Run 9	40	111714	-121365	7691	-38544	43021	-2141
Run 10	45	112157	-122676	8362	-35578	39711	-1976

Tabla 135. Tabla de cortantes y axiles de la barra 2 variando gamma con alfa=45



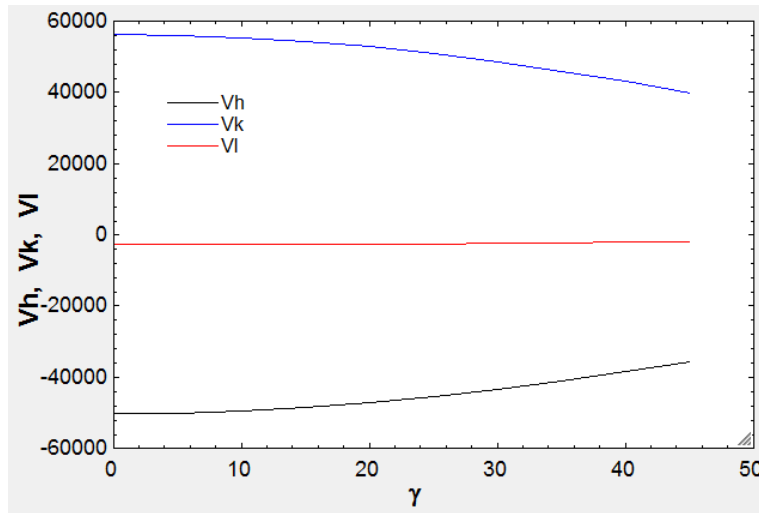


Fig 164. Gráfico de cortantes barra 2 variación de gamma con alfa=45

**BARRA 3**

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=0

1..10	1 alfa	2 Nj	3 Nm	4 Vj	5 Vm
Run 1	0	4515	-4515	295	295
Run 2	5	4515	-4515	295	295
Run 3	10	4515	-4515	295	295
Run 4	15	4515	-4515	295	295
Run 5	20	4515	-4515	295	295
Run 6	25	4515	-4515	295	295
Run 7	30	4515	-4515	295	295
Run 8	35	4515	-4515	295	295
Run 9	40	4515	-4515	295	295
Run 10	45	4515	-4515	295	295

Tabla 136. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando alfa con gamma=0

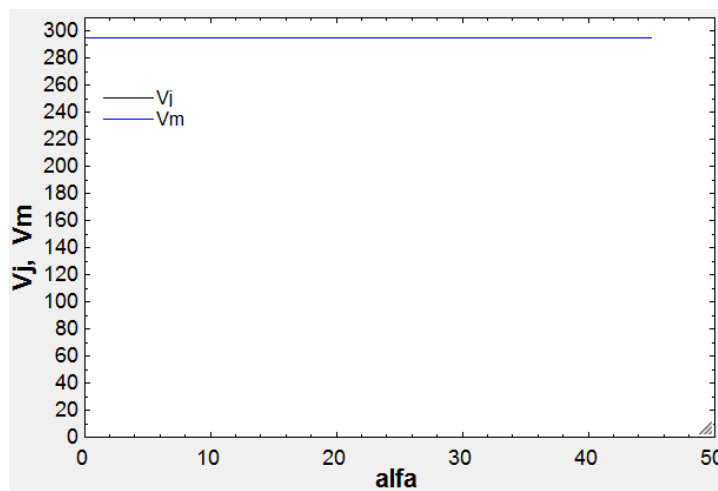


Tabla 137. Gráfico de cortantes barra 3 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=22.5

1..10	1 alfa	2 Nj	3 Nm	4 Vj	5 Vm
Run 1	0	4774	-5000	272,5	272,5
Run 2	5	4774	-5000	272,5	272,5
Run 3	10	4774	-5000	272,5	272,5
Run 4	15	4774	-5000	272,5	272,5
Run 5	20	4774	-5000	272,5	272,5
Run 6	25	4774	-5000	272,5	272,5
Run 7	30	4774	-5000	272,5	272,5
Run 8	35	4774	-5000	272,5	272,5
Run 9	40	4774	-5000	272,5	272,5
Run 10	45	4774	-5000	272,5	272,5

Tabla 138. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando alfa con gamma=22.5

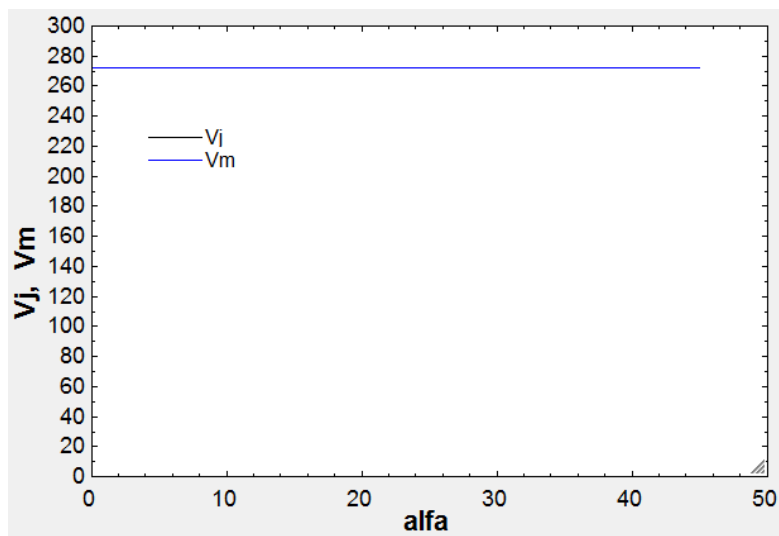


Fig 165. Gráfico de cortantes barra 3 variación de alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=45

1..10	1 alfa	2 Nj	3 Nm	4 Vj	5 Vm
Run 1	0	6177	-6594	208,6	208,6
Run 2	5	6177	-6594	208,6	208,6
Run 3	10	6177	-6594	208,6	208,6
Run 4	15	6177	-6594	208,6	208,6
Run 5	20	6177	-6594	208,6	208,6
Run 6	25	6177	-6594	208,6	208,6
Run 7	30	6177	-6594	208,6	208,6
Run 8	35	6177	-6594	208,6	208,6
Run 9	40	6177	-6594	208,6	208,6
Run 10	45	6177	-6594	208,6	208,6

Tabla 139. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando alfa con gamma=45

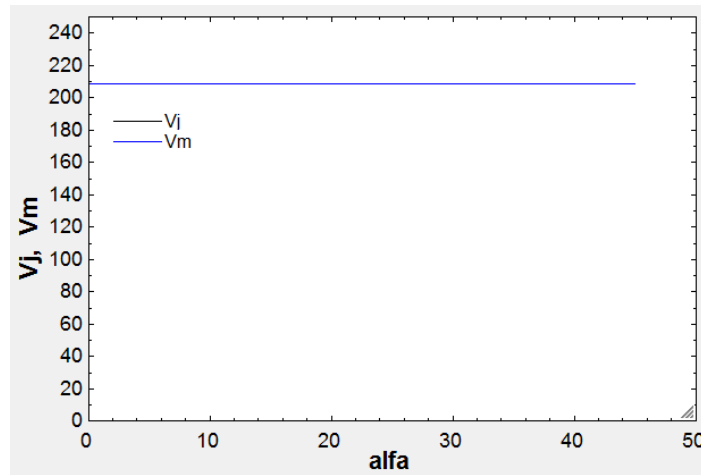


Fig 166. Gráfico de cortantes barra 3 variación de alfa con gamma=45

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=0

1..10	1	2	3	4	5	
	$\gamma$	$N_j$	$N_m$	$V_j$	$V_m$	
Run 1	0	4515	-4515	295	295	
Run 2	5	4507	-4558	293,9	293,9	
Run 3	10	4534	-4636	290,5	290,5	
Run 4	15	4598	-4751	284,9	284,9	
Run 5	20	4704	-4906	277,2	277,2	
Run 6	25	4857	-5107	267,4	267,4	
Run 7	30	5066	-5361	255,5	255,5	
Run 8	35	5343	-5681	241,6	241,6	
Run 9	40	5705	-6084	226	226	
Run 10	45	6177	-6594	208,6	208,6	

Tabla 140. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando gamma con alfa=0

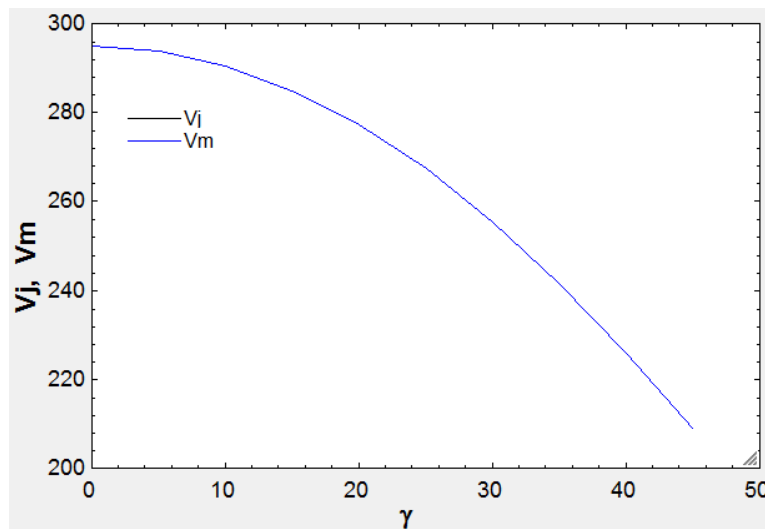


Fig 167. Gráfico de cortantes barra 3 variación de gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=22.5

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	Nj	Nm	Vj	Vm
Run 1	0	4515	-4515	295	295
Run 2	5	4507	-4558	293,9	293,9
Run 3	10	4534	-4636	290,5	290,5
Run 4	15	4598	-4751	284,9	284,9
Run 5	20	4704	-4906	277,2	277,2
Run 6	25	4857	-5107	267,4	267,4
Run 7	30	5066	-5361	255,5	255,5
Run 8	35	5343	-5681	241,6	241,6
Run 9	40	5705	-6084	226	226
Run 10	45	6177	-6594	208,6	208,6

Tabla 141. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando gamma con alfa=22.5

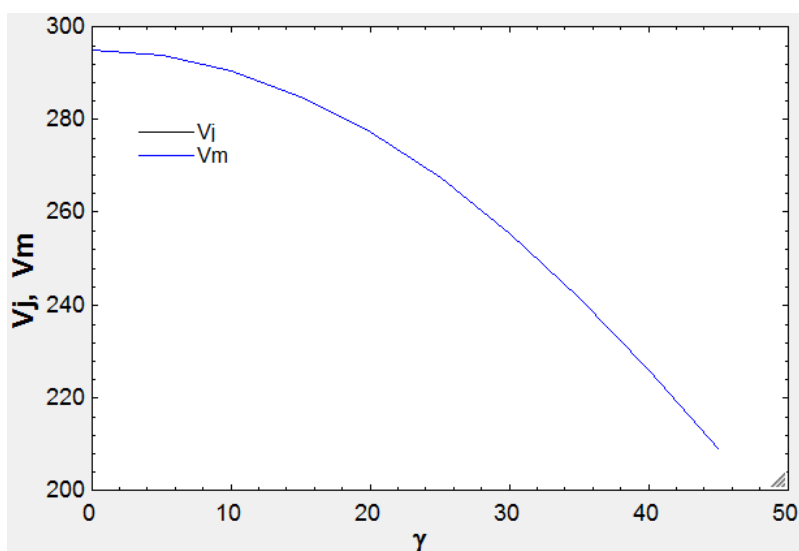


Fig 168. Gráfico de cortantes barra 3 variación de gamma con alfa=22.5

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=45

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	Nj	Nm	Vj	Vm
Run 1	0	4515	-4515	295	295
Run 2	5	4507	-4558	293,9	293,9
Run 3	10	4534	-4636	290,5	290,5
Run 4	15	4598	-4751	284,9	284,9
Run 5	20	4704	-4906	277,2	277,2
Run 6	25	4857	-5107	267,4	267,4
Run 7	30	5066	-5361	255,5	255,5
Run 8	35	5343	-5681	241,6	241,6
Run 9	40	5705	-6084	226	226
Run 10	45	6177	-6594	208,6	208,6

Tabla 142. Tabla de cortantes y axiles de la barra 3 variando gamma con alfa=45

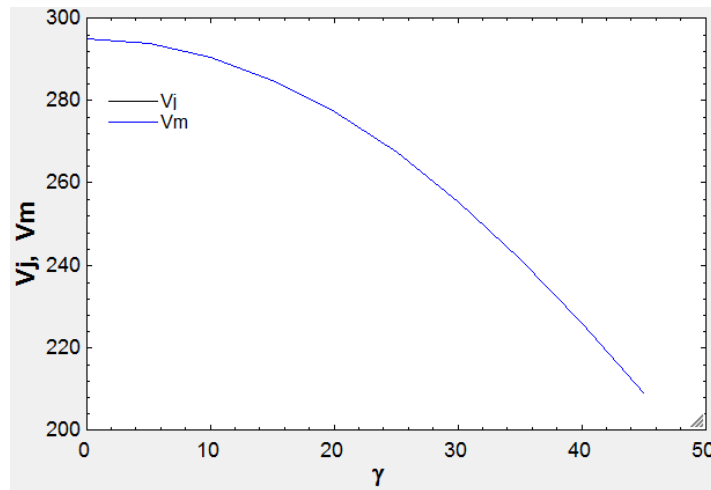


Fig 169. Gráfico de cortantes barra 3 variación de gamma con alfa=45

**BARRA 4**

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=0

1	2	3	4	5	
1..10	alfa	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	96164	-96164	205	205
Run 2	5	94873	-94838	204,2	204,2
Run 3	10	94443	-94372	201,9	201,9
Run 4	15	94887	-94781	198	198
Run 5	20	96255	-96115	192,6	192,6
Run 6	25	98638	-98464	185,8	185,8
Run 7	30	102180	-101975	177,5	177,5
Run 8	35	107101	-106866	167,9	167,9
Run 9	40	113723	-113460	157	157
Run 10	45	122533	-122243	145	145

Tabla 143. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando alfa con gamma=0

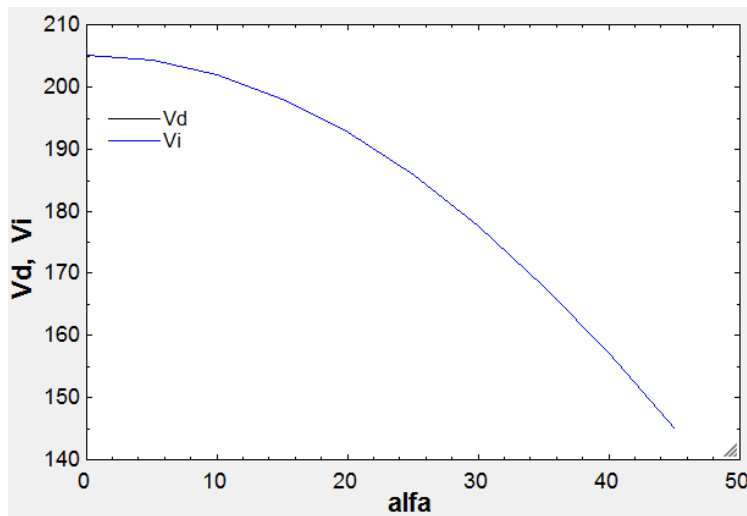


Fig 170. Gráfico de cortantes barra 4 variación de alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=22.5

1..10	1	2	3	4	5
	alfa	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	81311	-81311	205	205
Run 2	5	80372	-80336	204,2	204,2
Run 3	10	80206	-80134	201,9	201,9
Run 4	15	80825	-80719	198	198
Run 5	20	82277	-82136	192,6	192,6
Run 6	25	84646	-84473	185,8	185,8
Run 7	30	88068	-87863	177,5	177,5
Run 8	35	92745	-92510	167,9	167,9
Run 9	40	98979	-98715	157	157
Run 10	45	107218	-106928	145	145

Tabla 144. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando alfa con gamma=22.5

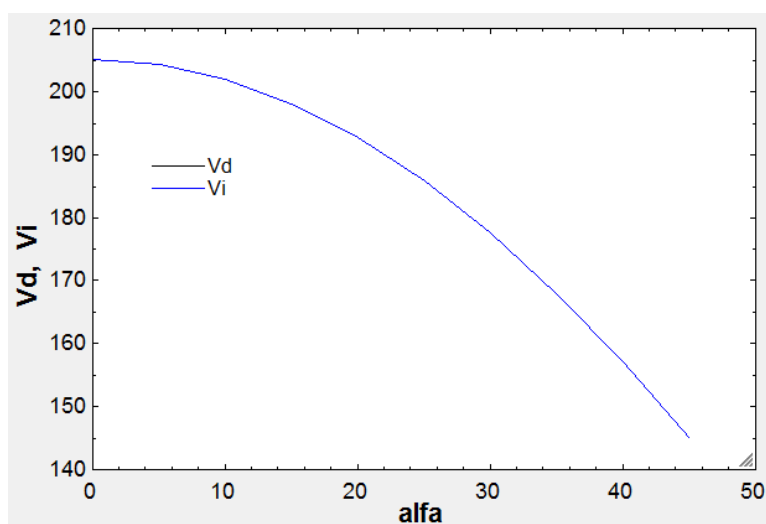


Fig 171. Gráfico de cortantes barra 4 variación de alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=45

1..10	1	2	3	4	5
	alfa	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	54675	-54675	205	205
Run 2	5	54181	-54145	204,2	204,2
Run 3	10	54252	-54181	201,9	201,9
Run 4	15	54901	-54795	198	198
Run 5	20	56166	-56026	192,6	192,6
Run 6	25	58114	-57940	185,8	185,8
Run 7	30	60849	-60644	177,5	177,5
Run 8	35	64530	-64295	167,9	167,9
Run 9	40	69390	-69127	157	157
Run 10	45	75777	-75488	145	145

Tabla 145. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando alfa con gamma=45

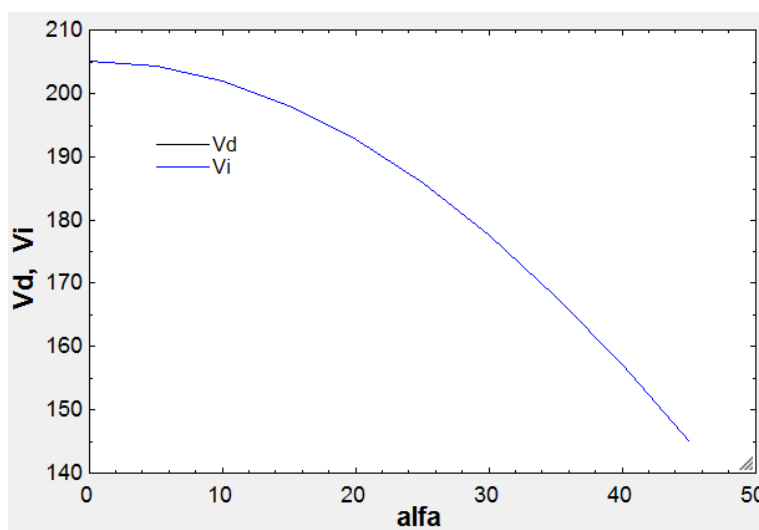


Fig 172. Gráfico de cortantes barra 4 variación de alfa con gamma=45

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=0

Run	$\gamma$	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	96164	-96164	205	205
Run 2	5	94062	-94062	205	205
Run 3	10	91252	-91252	205	205
Run 4	15	87760	-87760	205	205
Run 5	20	83616	-83616	205	205
Run 6	25	78857	-78857	205	205
Run 7	30	73529	-73529	205	205
Run 8	35	67682	-67682	205	205
Run 9	40	61375	-61375	205	205
Run 10	45	54675	-54675	205	205

Tabla 146. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando gamma con alfa=0

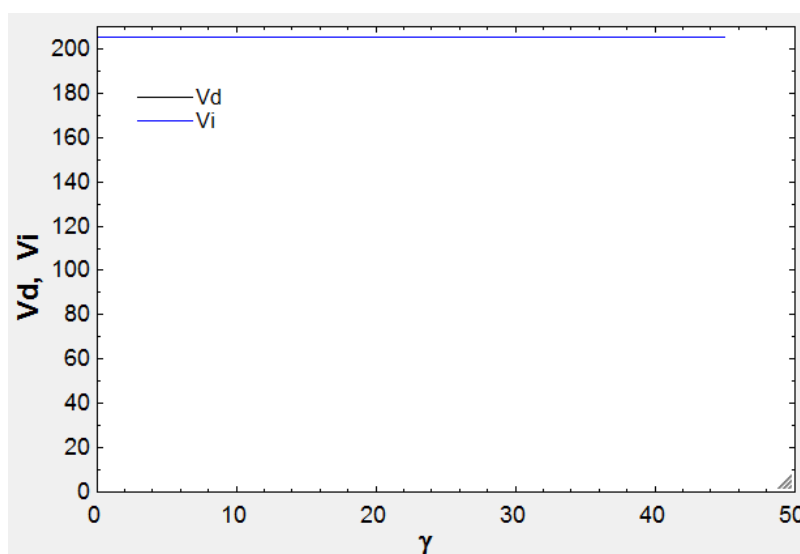


Fig 173. Gráfico de cortantes barra 4 variación de gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=22.5

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	97312	-97155	189,4	189,4
Run 2	5	95442	-95285	189,4	189,4
Run 3	10	92845	-92688	189,4	189,4
Run 4	15	89544	-89388	189,4	189,4
Run 5	20	85569	-85412	189,4	189,4
Run 6	25	80955	-80798	189,4	189,4
Run 7	30	75743	-75586	189,4	189,4
Run 8	35	69983	-69826	189,4	189,4
Run 9	40	63730	-63573	189,4	189,4
Run 10	45	57049	-56892	189,4	189,4

Tabla 147. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando gamma con alfa=22.5

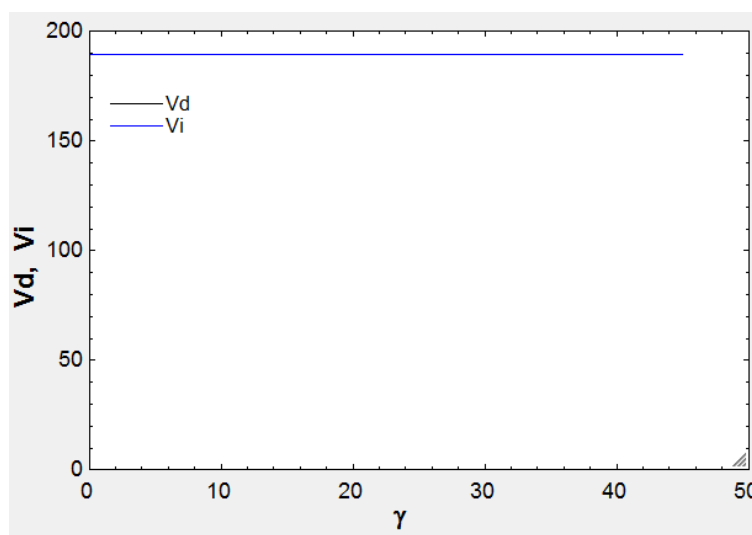


Fig 174. Gráfico de cortantes barra 4 variación de gamma con alfa=22.5

-Variación de gamma entre 0 y 45º con alfa=45

1..10	1	2	3	4	5
	$\gamma$	Nd	Ni	Vd	Vi
Run 1	0	122533	-122243	145	145
Run 2	5	120708	-120418	145	145
Run 3	10	117959	-117669	145	145
Run 4	15	114310	-114020	145	145
Run 5	20	109792	-109502	145	145
Run 6	25	104442	-104153	145	145
Run 7	30	98309	-98019	145	145
Run 8	35	91444	-91154	145	145
Run 9	40	83910	-83620	145	145
Run 10	45	75777	-75488	145	145

Tabla 148. Tabla de cortantes y axiles de la barra 4 variando gamma con alfa=45



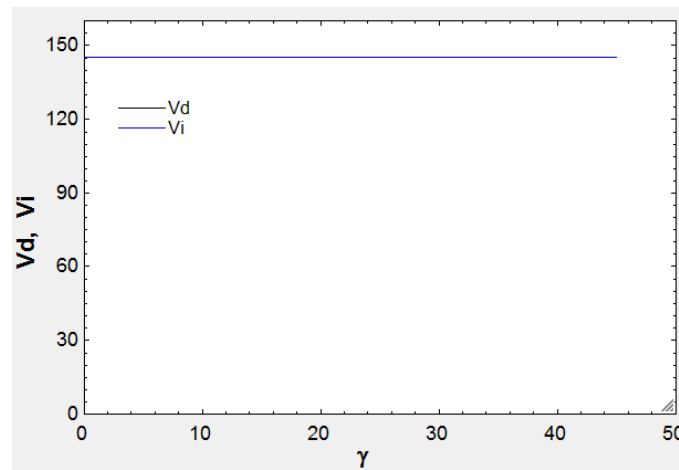


Fig 175. Gráfico de cortantes barra 4 variación de gamma con alfa=45

**BARRA 5**

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=0

1..10	1 alfa	2 ResultanteG	3 ResultanteH	4 ResultanteI	5 ResultanteJ
Run 1	0	50950	115110	96164	4525
Run 2	5	58968	113376	94838	4525
Run 3	10	66914	111801	94372	4525
Run 4	15	74927	110388	94781	4525
Run 5	20	83170	109135	96115	4525
Run 6	25	91833	108041	98465	4525
Run 7	30	101148	107105	101975	4525
Run 8	35	111408	106323	106866	4525
Run 9	40	123005	105692	113460	4525
Run 10	45	136481	105209	122243	4525

Tabla 149. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando alfa con gamma=0

-Variación de alfa entre 0 y 45º con gamma=22.5

1..10	1 alfa	2 ResultanteG	3 ResultanteH	4 ResultanteI	5 ResultanteJ
Run 1	0	87703	121925	81311	4782
Run 2	5	94046	120465	80337	4782
Run 3	10	100393	119200	80135	4782
Run 4	15	106892	118126	80719	4782
Run 5	20	113701	117239	82137	4782
Run 6	25	121000	116536	84473	4782
Run 7	30	129002	116012	87863	4782
Run 8	35	137980	115663	92510	4782
Run 9	40	148294	115485	98715	4782
Run 10	45	160445	115475	106928	4782

Tabla 150. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando alfa con gamma=22.5

-Variación de alfa entre 0 y 45° con gamma=45

1..10	1 alfa	2 ResultanteG	3 ResultanteH	4 ResultanteI	5 ResultanteJ
Run 1	0	109724	119530	54676	6181
Run 2	5	113604	118408	54145	6181
Run 3	10	117637	117528	54181	6181
Run 4	15	121933	116884	54796	6181
Run 5	20	126610	116469	56026	6181
Run 6	25	131801	116278	57941	6181
Run 7	30	137667	116306	60644	6181
Run 8	35	144416	116548	64295	6181
Run 9	40	152323	117002	69127	6181
Run 10	45	161773	117665	75488	6181

Tabla 151. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando alfa con gamma=45

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=0

1..10	1 $\gamma$	2 ResultanteG	3 ResultanteH	4 ResultanteI	5 ResultanteJ
Run 1	0	50950	115110	96164	4525
Run 2	5	59909	117136	94062	4516
Run 3	10	68502	118911	91253	4543
Run 4	15	76622	120386	87760	4607
Run 5	20	84173	121511	83616	4712
Run 6	25	91054	122230	78858	4865
Run 7	30	97164	122480	73529	5073
Run 8	35	102396	122183	67682	5348
Run 9	40	106628	121242	61375	5709
Run 10	45	109724	119530	54676	6181

Tabla 152. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando gamma con alfa=0

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=22.5

1..10	1 $\gamma$	2 ResultanteG	3 ResultanteH	4 ResultanteI	5 ResultanteJ
Run 1	0	87435	108568	97155	4525
Run 2	5	95269	110922	95285	4516
Run 3	10	102476	113020	92688	4543
Run 4	15	108984	114819	89388	4607
Run 5	20	114720	116278	85413	4712
Run 6	25	119613	117347	80798	4865
Run 7	30	123586	117968	75586	5073
Run 8	35	126558	118072	69826	5348
Run 9	40	128441	117571	63574	5709
Run 10	45	129132	116346	56893	6181

Tabla 153. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando gamma con alfa=22.5

-Variación de gamma entre 0 y 45° con alfa=45

1..10	7	ResultanteG	ResultanteH	ResultanteI	ResultanteJ
Run 1	0	136481	105209	122243	4525
Run 2	5	143505	107976	120418	4516
Run 3	10	149606	110495	117669	4543
Run 4	15	154727	112731	114020	4607
Run 5	20	158810	114648	109502	4712
Run 6	25	161801	116206	104153	4865
Run 7	30	163649	117357	98019	5073
Run 8	35	164301	118039	91154	5348
Run 9	40	163697	118176	83620	5709
Run 10	45	161773	117665	75488	6181

Tabla 154. Resultante de las reacciones en cada uno de los nudos de la barra 5 variando gamma con alfa=45

### ANEXO 3.4.2. CORANTES MÁXIMOS

Observando las gráficas se ha buscado la posición en la que encontramos las mayores cargas en los nudos de cada una de las barras y posteriormente se ha seleccionado el valor máximo de los cortantes.

#### BARRA 1

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	gamma=0	Vf	45	-108239
alfa	gamma=22,5°	Vf	45	-124096
alfa	gamma=45°	Vf	25	-127492
gamma	alfa=0	Vf	45	-116208
gamma	alfa=22,5°	Vf	45	-127256
gamma	alfa=45°	Vf	45	-122676

Tabla 155. Tabla de cortantes máximos de la barra 1

El cortante máximo en la barra 1 ha sido encontrado en gamma a 45° y alfa 25°.

#### BARRA 2

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	gamma=0	Vk	no varía	56160
alfa	gamma=22,5°	Vk	no varía	51885
alfa	gamma=45°	Vk	no varía	39711
gamma	alfa=0	Vk	0	56160
gamma	alfa=22,5°	Vk	0	56160
gamma	alfa=45°	Vk	0	56160

Tabla 156. Tabla de cortantes máximos de la barra 2

En la barra dos se ha encontrado varios valores que coinciden por lo que se ha elegido la posición en la que el axil es mayor dentro de los cortantes máximos. (-108046 N)

**BARRA 3**

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor cortante [N]
alfa	gamma=0	Vj=Vm	no varía	295
alfa	gamma=22,5°	Vj=Vm	no varía	272,5
alfa	gamma=45°	Vj=Vm	no varía	208,6
gamma	alfa=0	Vj=Vm	0	295
gamma	alfa=22,5°	Vj=Vm	0	295
gamma	alfa=45°	Vj=Vm	0	295

Tabla 157. Tabla de cortantes máximos de la barra 3

En la barra 3 se han encontrado varios valores que coinciden los cortantes máximos junto con los axiles por lo tanto se ha elegido cualquiera de las posiciones donde gamma forma 0° con la horizontal. (4515 N)

**BARRA 4**

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor cortante [N]
alfa	gamma=0	Vd=Vi	0	205
alfa	gamma=22,5°	Vd=Vi	0	205
alfa	gamma=45°	Vd=Vi	0	205
gamma	alfa=0	Vd=Vi	no varia	205
gamma	alfa=22,5°	Vd=Vi	no varia	189,4
gamma	alfa=45°	Vd=Vi	no varia	145

Tabla 158. Tabla de cortantes máximos de la barra 4

En esta barra, como ha ocurrido en varias ocasiones, en varias posiciones de las barras coinciden los cortantes máximos por lo que se ha buscado el mayor axil dentro de estos cortantes máximos. (96164 N)

**BARRA 5**

Variación de 0 a 45°	Valor fijo	Sección más solicitada	Ángulo con mayor carga	Valor [N]
alfa	gamma=0	G	45	136481
alfa	gamma=22,5°	G	45	160445
alfa	gamma=45°	G	45	161773
gamma	alfa=0	H	30	122480
gamma	alfa=22,5°	G	45	129132
gamma	alfa=45°	G	35	164301

Tabla 159. Tabla de resultantes máximas en la barra 5

Para la barra 5 se ha utilizado el valor máximo para calcularla a aplastamiento y obtener el grosor de las paredes

ANEXO 3.4.3. DIAGRAMAS DE ESFUERZOS

Una vez obtenidas las secciones críticas de cada barra se han calculado los diagramas para obtener los esfuerzos máximos y dimensionar respecto a estos.

**BARRA 1**

-Flector

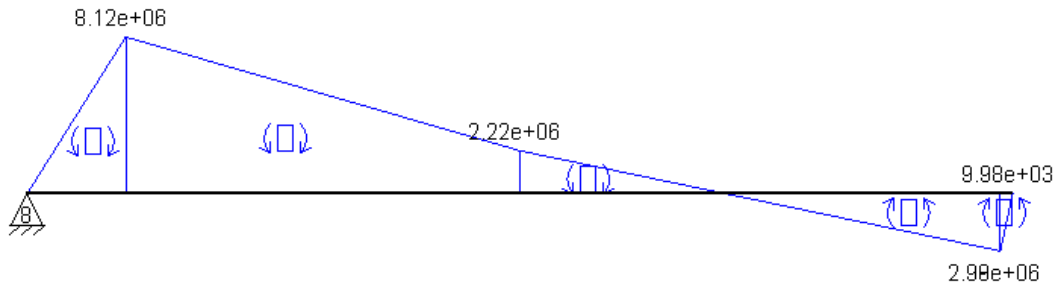


Fig 176. Esfuerzos flectores en la barra 1

-Axil

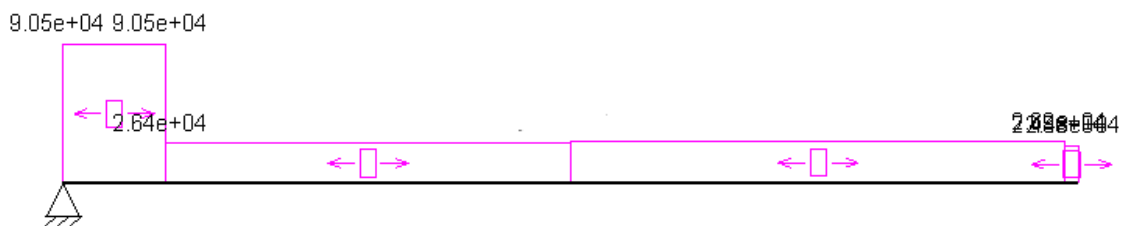


Fig 177. Esfuerzos axiales en la barra 1

**BARRA 2**

-Flector

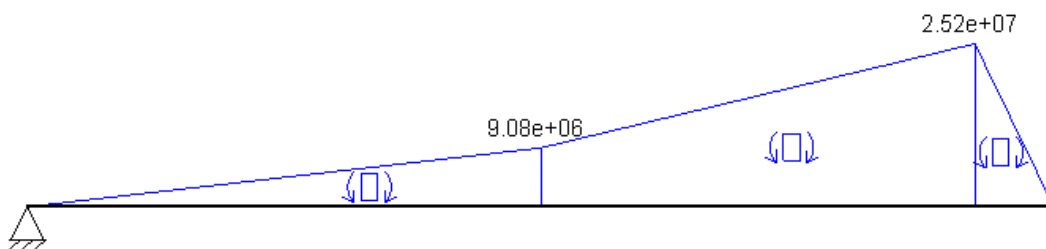


Fig 178. Esfuerzos flectores en la barra 2

-Axil

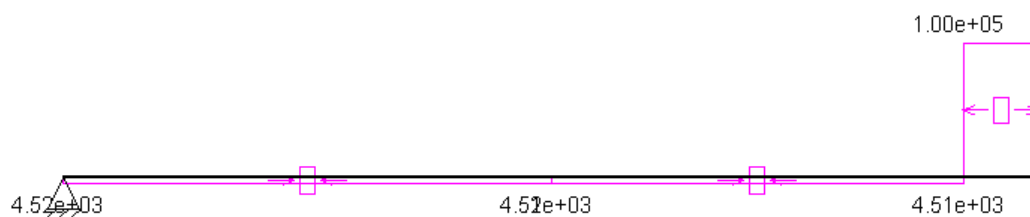


Fig 179. Esfuerzos axiales en la barra 2

**BARRA 3**

-Flector

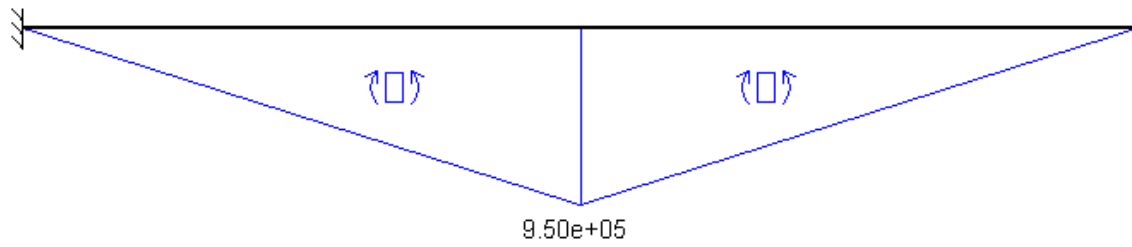


Fig 180. Esfuerzos flectores en la barra 3

-Axil

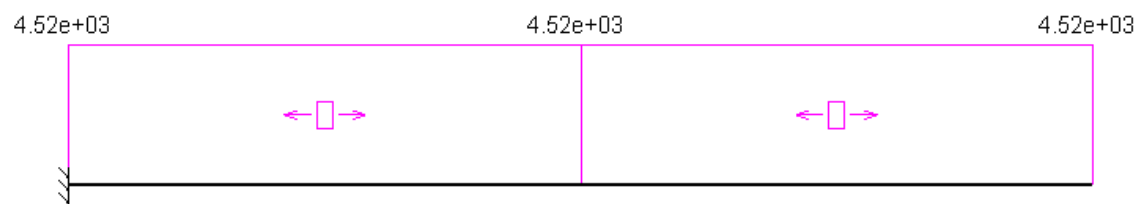


Fig 181. Esfuerzos axiales en la barra 3

**BARRA 4**

-Flector

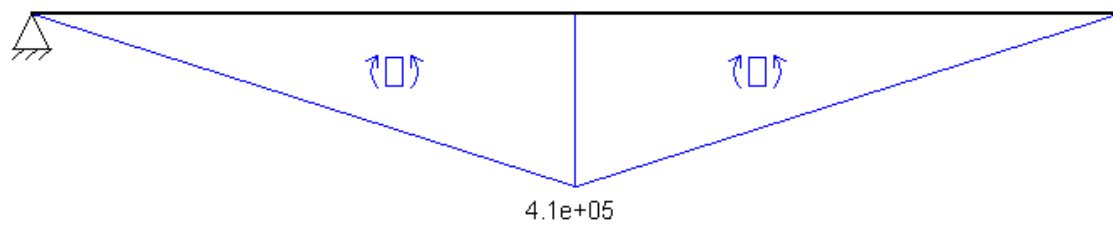


Fig 182. Esfuerzos flectores en la barra 4

-Axil

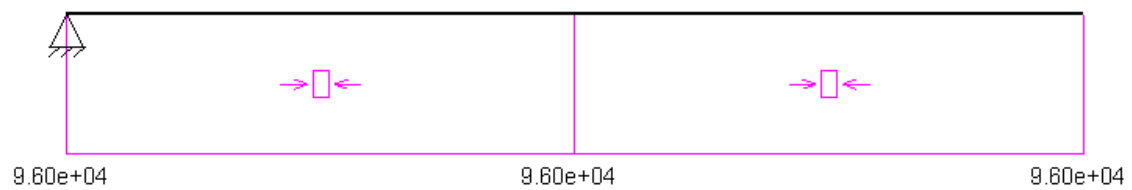


Fig 183. Esfuerzos axiales en la barra 4

## ANEXO 3.4.4. DIMENSIONADO DE LAS BARRAS

El dimensionado de las barras, al igual que en todas las iteraciones, se ha basado en el teorema de cortante máximo (ANEXO 4) y se ha trabajado de la misma manera y con el mismo material.

**BARRA 1**

Mf,máx	8,12E+06
Wf=Mf/σ [mm <sup>3</sup> ]	6,41E+04
Wf[cm <sup>3</sup> ]	64,14
perfil elegido	120x100x8
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	86,8
Wf elegido[mm <sup>3</sup> ]	86800
Área[cm <sup>2</sup> ]	30,4
Área[m <sup>2</sup> ]	0,00304
Área[mm <sup>2</sup> ]	3040
longitud[m]	4
volumen[m <sup>3</sup> ]	0,01216
peso[kg]	94,848
axil [N]	9,05E+04
σ=N/A+Mf/Wf	123,38
	σ<σadm CUMPLE

Tabla 160. Tabla de selección de perfil de la barra 1

Comenzando el cálculo con el perfil elegido en la anterior iteración se ha comprobado que resiste los nuevos esfuerzos por lo tanto para esta barra tenemos el perfil adecuado.

**BARRA 2**

Mf,máx	2,50E+07
Wf=Mf/σ [mm <sup>3</sup> ]	1,97E+05
Wf[cm <sup>3</sup> ]	197,37
perfil elegido	160x140x12
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	228
Wf elegido[mm <sup>3</sup> ]	228000
Área[cm <sup>2</sup> ]	60,1
Área[m <sup>2</sup> ]	0,00601
Área[mm <sup>2</sup> ]	6010
Longitud[m]	6,5
Volumen[m <sup>3</sup> ]	0,039065
Peso[kg]	304,707
Axil [N]	1,00E+05
σ=N/A+Mf/Wf	126,29
	σ<σadm CUMPLE

Tabla 161. Tabla de selección de perfil de la barra 2

En este caso, el perfil que se seleccionó en la iteración anterior sigue soportando las nuevas cargas, por lo tanto, no se ha requerido buscar otro perfil.

**BARRA 3**

Mf,máx	9,50E+05
Wf=Mf/σ [mm <sup>3</sup> ]	7,50E+03
Wf[cm <sup>3</sup> ]	7,50
perfil elegido	36x36
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	7,77
Wf elegido[mm <sup>3</sup> ]	7770
Área[cm <sup>2</sup> ]	13
Área[m <sup>2</sup> ]	0,0013
Área[mm <sup>2</sup> ]	1300
Longitud[m]	6,5
Volumen[m <sup>3</sup> ]	0,00845
Peso[kg]	65,91
Axil [N]	4,52E+03
σ=N/A+Mf/Wf	125,74
	σ<σadm CUMPLE

Tabla 162. Tabla de selección de perfil de la barra 3

Como el módulo resistente del perfil elegido en la iteración anterior no cumplía el mínimo que exige esta ocasión se ha decidido aumentar la sección.

**BARRA 4**

Mf,máx	4,10E+05
Wf=Mf/σ [mm <sup>3</sup> ]	3,24E+03
Wf[cm <sup>3</sup> ]	3,24
perfil elegido	36x36
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	7,77
Wf elegido[mm <sup>3</sup> ]	7770
Área[cm <sup>2</sup> ]	13
Área[m <sup>2</sup> ]	0,0013
Área[mm <sup>2</sup> ]	1300
Longitud[m]	4
Volumen[m <sup>3</sup> ]	0,0052
Peso[kg]	40,56
Axil [N]	9,60E+04
σ=N/A+Mf/Wf	126,61
	σ<σadm CUMPLE

Tabla 163. Tabla de selección de perfil de la barra 4

Para la barra 4 también obtenemos que el perfil elegido en la anterior iteración cumple el criterio de cortante, por lo tanto, ya tenemos seleccionados los perfiles de todas las barras.

A continuación, se ha calculado las dimensiones de la barra 5 y el perfil que necesitaremos para soportar toda la estructura y, que a su vez, hará de bancada.



**BARRA 5**

Para dimensionar la barra 5, al igual que en todos los casos, se ha hecho el cálculo por aplastamiento con el valor máximo en la barra 5 para obtener el grosor de sus paredes que, junto a la anchura de las barras elegidas, obtendremos la anchura total de esta barra y su peso propio.

**Cálculo a cortadura:**

Con este cálculo se ha obtenido el diámetro del pasador:

$$A_{cortadura} = \frac{\pi * d^2}{4} ; \quad \tau_{m\acute{a}x,adm} = \frac{\sigma_F}{2 * C_S} = \frac{380}{6} = 63.333 \text{ MPa}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{F/4}{A_c} = \frac{164301/4}{A_c} = 63.333 \rightarrow A_c = 648.55 \text{ mm}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * A_c}{\pi}} = 28.7 \approx 29 \text{ mm}$$

**Cálculo a aplastamiento:**

$$A_{aplastamiento} = d * e; \quad \tau_{m\acute{a}x,adm} = \frac{\sigma_F}{2 * C_S} = \frac{380}{6} = 63.333 \text{ MPa}; \quad \tau_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma}{2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x,adm} = 63,333 = \frac{164301/4}{2 * A_a} = \frac{164301/4}{2 * 29 * e} \rightarrow e = 11.1 \approx 12 \text{ mm}$$

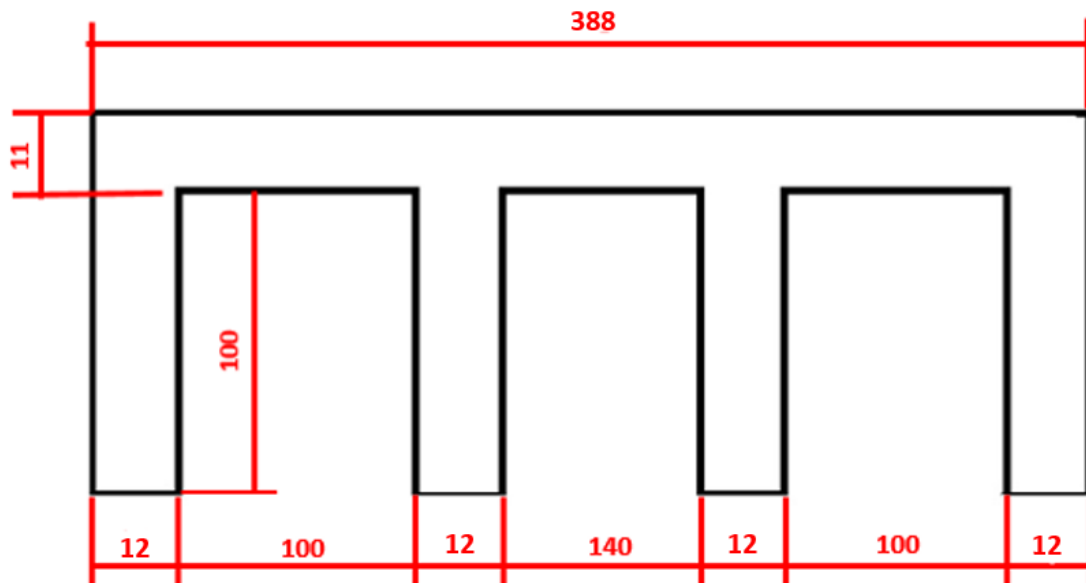


Tabla 164. Dimensiones de la barra 5 en la cuarta iteración

$$\text{Área} = 9068 \text{ mm}^2$$

$$\text{Volumen} = \text{Área} * \text{Altura} = 4.5 * 10^6 \text{ mm}^3 = 0.0045 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso} = \text{Volumen} * \text{densidad} \approx 35 \text{ Kg}$$

**OREJETA**

Para el cálculo de la barra que actúa como bancada se ha utilizado el mismo proceso que en el resto de las barras hallando el cortante máximo, momentos flectores y axiles y aplicando el teorema de cortante máximo.

Variación de 0 a 45º	Valor fijo	Ángulo con mayor carga	Punto más solicitado	Valor [N]
alfa	gamma=0	0	C	-223924
alfa	gamma=22,5º	0	C	-199662
alfa	gamma=45º	0	C	-167423
gamma	alfa=0	0	C	-223924
gamma	alfa=22,5º	0	C	-198231
gamma	alfa=45º	0	C	-159749

Tabla 165. Tabla de cortantes máximos de la orejeta

-Flectores

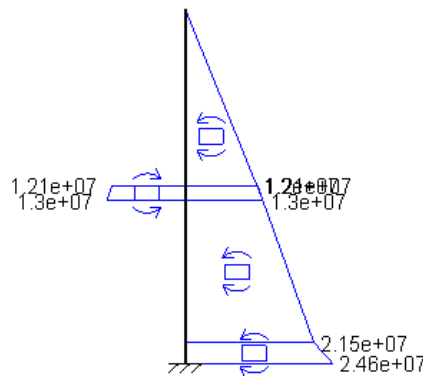


Fig 184. Esfuerzos flectores en la orejeta

-Axil

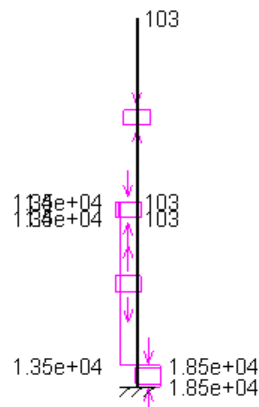


Fig 185. Esfuerzos axiales en la orejeta

Mf,máx	2,46E+07
$Wf=Mf/\sigma$ [mm <sup>3</sup> ]	1,94E+05
Wf[cm <sup>3</sup> ]	194,49
perfil elegido	300x100x10
Wf elegido [cm <sup>3</sup> ]	245
Wf elegido[mm <sup>3</sup> ]	245000
Área[cm <sup>2</sup> ]	72,6
Área[m <sup>2</sup> ]	0,00726
Área[mm <sup>2</sup> ]	7260
Longitud[m]	0,5
Volumen[m <sup>3</sup> ]	0,00363
Peso[kg]	28,314
Axil [N]	1,85E+04
$\sigma=N/A+Mf/Wf$	103,09
	$\sigma < \sigma_{adm}$ CUMPLE

Tabla 166. Tabla de selección de perfil de la orejeta

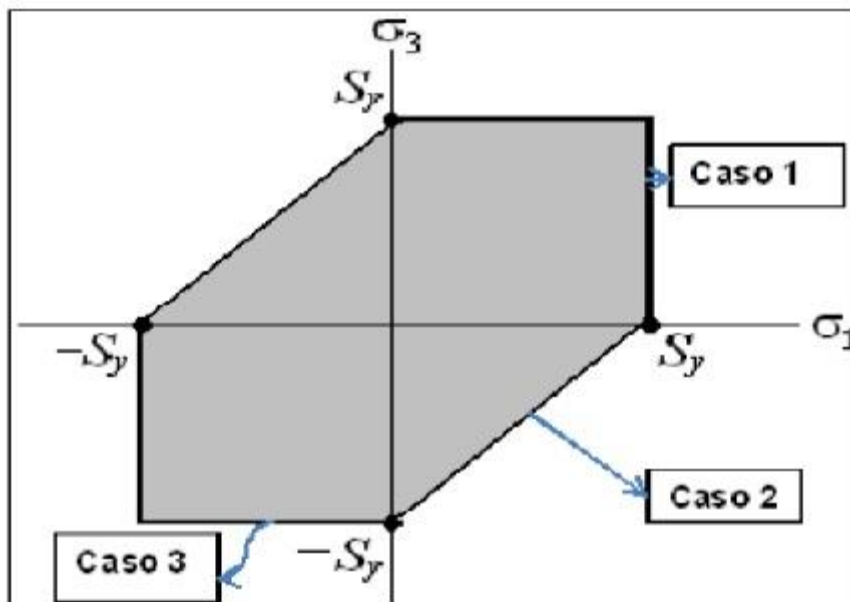
## ANEXO 4

## ANEXO 4.1. TEOREMA DE CORTANTE MÁXIMO

También conocida como Teoría de Tresca o Guest. Establece que la fluencia del material se produce por el esfuerzo cortante, surgió de la observación de la estricción que se produce en una probeta cuando es sometida a un ensayo de tensión. La teoría dice:

La falla se producirá cuando el esfuerzo cortante máximo absoluto en la pieza sea igual o mayor al esfuerzo cortante máximo absoluto de una probeta sometida a un ensayo de tensión en el momento que se produce la fluencia, el esfuerzo cortante máximo ocurre a 45 grados de la superficie de tensión.

O bien, La falla de un material ocurre siempre que en cualquier elemento la tensión de la cortadura máxima sea igual a la tensión cortante máxima en una probeta a tracción.



## Ensayo a tracción

$$\sigma_2 = \sigma_3 = 0$$

$$\tau_{max\ ens. trac} = \frac{\sigma_F}{2}$$

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_{m\acute{a}x} &= \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \\ C_s &= \frac{\sigma_F}{2\tau_{m\acute{a}x}} \end{aligned} \right\} \sigma_1 - \sigma_3 = \frac{\sigma_F}{C_s}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_F}{2C_s}$$

ANEXO 5

ANEXO 5.1. TABLAS DE PERFILES COMERCIALES

DIMENSION ESPECIFICA DE LADOS		ESPESOR ESPECIFICO	MASA LINEAL	ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	MOMENTO DE INERCIA		RADIO DE GIRO		MÓDULO ELÁSTICO		MÓDULO PLÁSTICO		MOMENTO DE INERCIA DE TORSION	MÓDULO DE TORSION	SUPERFICIE LATERAL POR UNIDAD DE LARGO	LARGO NOMINAL POR TONELADA	ÁREA SUPERFICIE EXTERIOR POR METRO
H	B	T	M	A	$I_{xx}$	$I_{yy}$	$i_{xx}$	$i_{yy}$	$W_{elox}$	$W_{elyy}$	$W_{plox}$	$W_{plyy}$	$I_t$	$C_t$	$A_s$	m	$A_{s/v}$
mm	mm	mm	kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m		m <sup>-1</sup>
100	30	2,5	4,78	6,09	67,4	9,79	3,33	1,27	13,5	6,53	17,8	7,42	29,4	12,0	0,251	209	413
100	30	3	5,66	7,21	78,2	11,2	3,29	1,25	15,6	7,46	20,8	8,63	34,0	13,8	0,250	177	346
100	30	4	7,34	9,35	97,3	13,5	3,23	1,20	19,5	9,00	26,4	10,8	42,1	16,8	0,246	136	263
100	80	1,5	4,12	5,25	79,6	56,7	3,89	3,29	15,9	14,2	18,6	16,0	102	22,4	0,355	243	676
100	80	2	5,45	6,94	104	73,9	3,87	3,26	20,8	18,5	24,4	21,0	135	29,2	0,353	184	509
100	80	2,5	6,74	8,59	127	90,2	3,84	3,24	25,4	22,5	30,0	25,8	166	35,7	0,351	148	409
100	80	3	8,01	10,2	149	106	3,82	3,22	29,8	26,4	35,4	30,4	196	41,9	0,350	125	343
100	80	4	10,5	13,3	189	134	3,77	3,17	37,9	33,5	45,6	39,2	254	53,4	0,346	95,4	259
100	80	5	12,8	16,4	226	160	3,72	3,12	45,2	39,9	55,1	47,2	308	63,7	0,343	77,9	210
100	80	6	15,1	19,2	258	182	3,67	3,08	51,7	45,5	63,8	54,7	357	73,0	0,339	66,2	176
100	80	6,3	15,5	19,7	259	183	3,62	3,04	51,8	45,7	64,6	55,4	371	75,0	0,333	64,6	169
100	80	7	16,9	21,6	276	195	3,58	3,01	55,3	48,8	69,7	59,8	402	80,4	0,330	59,1	153
140	70	3	9,43	12,0	306	105	5,05	2,95	43,7	29,9	54,1	33,5	252	51,7	0,410	106	341
140	70	4	12,4	15,7	393	133	4,99	2,91	56,1	38,1	70,1	43,2	326	65,9	0,406	80,9	258
140	70	5	15,2	19,4	471	159	4,94	2,86	67,4	45,3	85,1	52,3	395	78,9	0,403	65,8	208
140	70	6	17,9	22,8	543	181	4,88	2,82	77,6	51,8	99,0	60,7	459	90,5	0,399	55,8	175
140	70	6,3	18,5	23,5	546	184	4,82	2,79	78,1	52,4	101	61,9	477	93,2	0,393	54,2	167
140	70	7	20,2	25,8	587	196	4,77	2,76	83,8	56,1	109	67,0	517	100	0,390	49,5	151
140	70	8	22,6	28,8	638	212	4,70	2,71	91,2	60,7	120	73,6	569	109	0,386	44,2	134
160	120	3	12,7	16,2	612	394	6,14	4,93	76,5	65,7	90,3	74,3	749	106	0,550	78,6	339
160	120	4	16,8	21,3	792	510	6,09	4,89	99,1	85,0	118	96,9	980	137	0,546	59,7	256
160	120	5	20,7	26,4	962	618	6,04	4,84	120	103	144	118	1.201	166	0,543	48,3	206
160	120	6	24,5	31,2	1.121	718	5,99	4,80	140	120	169	139	1.413	193	0,539	40,8	173
160	120	6,3	25,4	32,3	1.144	735	5,95	4,77	143	122	174	143	1.481	200	0,533	39,4	165
160	120	7	27,9	35,6	1.242	796	5,91	4,73	155	133	190	156	1.622	218	0,530	35,8	149
160	120	8	31,4	40,0	1.371	878	5,85	4,68	171	146	211	174	1.814	241	0,526	31,8	131
160	120	10	38,1	48,6	1.597	1.019	5,73	4,58	200	170	251	206	2.166	283	0,517	26,2	106
160	120	12	43,4	55,3	1.698	1.087	5,54	4,43	212	181	275	226	2.439	312	0,498	23,1	90,2
160	120	12,5	44,8	57,0	1.730	1.107	5,51	4,41	216	185	282	232	2.502	319	0,496	22,3	86,9
180	40	3	9,90	12,6	433	38,1	5,86	1,74	48,1	19,1	64,6	21,3	122	35,9	0,430	101	341
180	40	4	13,0	16,5	554	47,5	5,79	1,69	61,6	23,8	83,7	27,2	155	44,8	0,426	77,0	258
180	40	5	16,0	20,4	665	55,4	5,71	1,65	73,9	27,7	102	32,5	183	52,5	0,423	62,6	208
180	40	6	18,9	24,0	764	62,0	5,64	1,61	84,9	31,0	118	37,3	208	59,0	0,419	53,0	175
160	140	3	13,7	17,4	686	560	6,28	5,67	85,7	80,0	99,7	91,1	956	124	0,590	73,2	339
160	140	4	18,0	22,9	890	726	6,23	5,62	111	104	130	119	1.253	161	0,586	55,5	255
160	140	5	22,3	28,4	1.082	882	6,18	5,58	135	126	160	146	1.539	196	0,583	44,9	206
160	140	6	26,4	33,6	1.263	1.028	6,13	5,53	158	147	188	171	1.815	229	0,579	37,9	172

DIMENSION ESPECIFICA DE LADOS		ESPESOR ESPECIFICO	MASA LINEAL	ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERAL	MOMENTO DE INERCIA		RADIO DE GIRO		MÓDULO ELÁSTICO		MÓDULO PLÁSTICO		MOMENTO DE INERCIA DE TORSIÓN	MÓDULO DE TORSIÓN	SUPERFICIE LATERAL POR UNIDAD DE LARGO	LARGO NOMINAL POR TONELADA	ÁREA SUPERFICIE EXTERIOR POR METRO
H	B	T	M	A	$I_{xx}$	$I_{yy}$	$i_{xx}$	$i_{yy}$	$W_{elxx}$	$W_{elyy}$	$W_{plxx}$	$W_{plyy}$	$I_t$	$C_t$	$A_s$	m	$A_{siv}$
mm	mm	mm	kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m		m <sup>-1</sup>
100	80	8	18,9	24,0	298	210	3,52	2,96	59,6	52,5	76,3	65,4	442	87,3	0,326	53,0	135
110	20	2	3,88	4,94	60,0	3,62	3,48	0,856	10,9	3,62	15,0	4,12	12,2	6,91	0,253	258	513
110	100	3	9,43	12,0	221	191	4,29	3,99	40,2	38,2	47,1	44,1	322	58,8	0,410	106	341
110	100	4	12,4	15,7	283	245	4,24	3,94	51,5	49,0	61,0	57,1	419	75,5	0,406	80,9	258
110	100	5	15,2	19,4	340	294	4,19	3,90	61,9	58,7	74,0	69,3	511	90,7	0,403	65,8	208
110	100	6	17,9	22,8	392	338	4,14	3,85	71,3	67,6	86,2	80,7	597	105	0,399	55,8	175
110	100	6,3	18,5	23,5	396	342	4,11	3,81	72,0	68,4	87,8	82,3	623	108	0,393	54,2	167
110	100	7	20,2	25,8	426	367	4,07	3,78	77,4	73,5	95,2	89,2	678	117	0,390	49,5	151
120	80	2	6,07	7,74	160	86,0	4,54	3,33	26,6	21,5	31,7	24,1	175	35,3	0,393	165	508
120	80	2,5	7,53	9,59	196	105	4,52	3,31	32,6	26,3	39,1	29,6	216	43,2	0,391	133	408
120	80	3	8,96	11,4	230	123	4,49	3,29	38,4	30,9	46,2	35,0	255	50,8	0,390	112	342
120	80	4	11,7	14,9	295	157	4,44	3,24	49,1	39,3	59,8	45,2	331	64,9	0,386	85,2	258
120	80	5	14,4	18,4	353	188	4,39	3,20	58,9	46,9	72,4	54,7	402	77,8	0,383	69,4	209
120	80	6	17,0	21,6	406	215	4,33	3,15	67,7	53,8	84,3	63,5	469	89,4	0,379	58,9	175
120	80	6,3	17,5	22,2	408	217	4,28	3,12	68,1	54,3	85,6	64,7	488	92,1	0,373	57,3	168
120	80	7	19,1	24,4	438	232	4,24	3,09	73,0	58,1	92,7	70,0	529	99,1	0,370	52,3	152
120	80	8	21,4	27,2	476	252	4,18	3,04	79,3	62,9	102	76,9	584	108	0,366	46,8	134
120	80	10	25,6	32,6	534	281	4,05	2,94	89,0	70,3	118	88,7	676	122	0,357	39,1	110
120	80	12	28,3	36,1	525	279	3,81	2,78	87,4	69,8	122	92,4	708	127	0,338	35,3	94
120	80	12,5	29,1	37,0	527	281	3,77	2,75	87,8	70,1	124	93,7	715	128	0,336	34,4	91
200	150	3	16,0	20,4	1.215	785	7,72	6,20	122	105	143	118	1.478	168	0,690	62,4	338
200	150	4	21,2	26,9	1.584	1.021	7,67	6,16	158	136	187	154	1.942	219	0,686	47,3	255
200	150	5	26,2	33,4	1.935	1.245	7,62	6,11	193	166	230	189	2.391	267	0,683	38,2	205
200	150	6	31,1	39,6	2.268	1.457	7,56	6,06	227	194	271	223	2.826	313	0,679	32,1	171
200	150	6,3	32,3	41,1	2.330	1.499	7,53	6,04	233	200	280	230	2.965	325	0,673	31,0	164
200	150	7	35,6	45,4	2.542	1.634	7,49	6,00	254	218	307	252	3.259	356	0,670	28,1	148
200	150	8	40,2	51,2	2.829	1.816	7,43	5,95	283	242	344	283	3.665	396	0,666	24,9	130
200	150	10	49,1	62,6	3.348	2.143	7,31	5,85	335	286	413	339	4.428	471	0,657	20,4	105
200	150	12	56,6	72,1	3.668	2.353	7,14	5,71	367	314	463	380	5.100	532	0,638	17,7	88,6
200	150	12,5	58,5	74,5	3.759	2.410	7,10	5,69	376	321	476	392	5.256	547	0,636	17,1	85,3
200	150	14,2	64,9	82,7	4.033	2.583	6,98	5,59	403	344	519	426	5.746	591	0,627	15,4	75,8
120	100	7	21,3	27,2	528	398	4,41	3,83	88,0	79,5	108	95,7	776	129	0,410	46,9	151
120	100	8	23,9	30,4	576	434	4,35	3,78	96,1	86,8	120	106	862	141	0,406	41,8	133
120	100	10	28,7	36,6	655	492	4,23	3,67	109	98,5	140	123	1.011	162	0,397	34,8	109
120	100	12	32,1	40,9	665	502	4,03	3,50	111	100	148	131	1.095	173	0,378	31,2	92,6
120	100	12,5	33,0	42,0	672	507	4,00	3,47	112	101	151	133	1.114	176	0,376	30,3	89,3
300	100	4	24,3	30,9	3.320	595	10,4	4,39	221	119	283	130	1.668	216	0,786	41,2	254
300	100	5	30,1	38,4	4.065	723	10,3	4,34	271	145	348	160	2.044	262	0,783	33,2	204
300	100	6	35,8	45,6	4.777	842	10,2	4,30	318	168	411	188	2.403	306	0,779	27,9	171
300	100	6,3	37,2	47,4	4.907	868	10,2	4,28	327	174	425	194	2.515	318	0,773	26,8	163
300	100	7	41,1	52,4	5.360	944	10,1	4,25	357	189	466	213	2.754	347	0,770	24,3	147
300	100	8	46,5	59,2	5.978	1.045	10,0	4,20	399	209	523	238	3.080	385	0,766	21,5	129
300	100	10	57,0	72,6	7.106	1.224	9,90	4,11	474	245	631	285	3.681	455	0,757	17,6	104
300	100	12	66,0	84,1	7.808	1.343	9,64	4,00	521	269	710	321	4.178	509	0,738	15,2	87,8
300	100	12,5	68,3	87,0	8.010	1.374	9,59	3,97	534	275	732	330	4.292	521	0,736	14,6	84,5

Tabla 167. Secciones comerciales

## ANEXO 6

## ANEXO 6.1. RESULTADOS DE TENSIONES MÁXIMAS Y COEF. DE SEGURIDAD

En este anexo se muestran varias imágenes del reparto de tensiones y coeficiente de seguridad máximo en varias de las posiciones de la estructura para comprobar que cumple los requisitos establecidos.

**ALFA= 45; GAMMA=45**

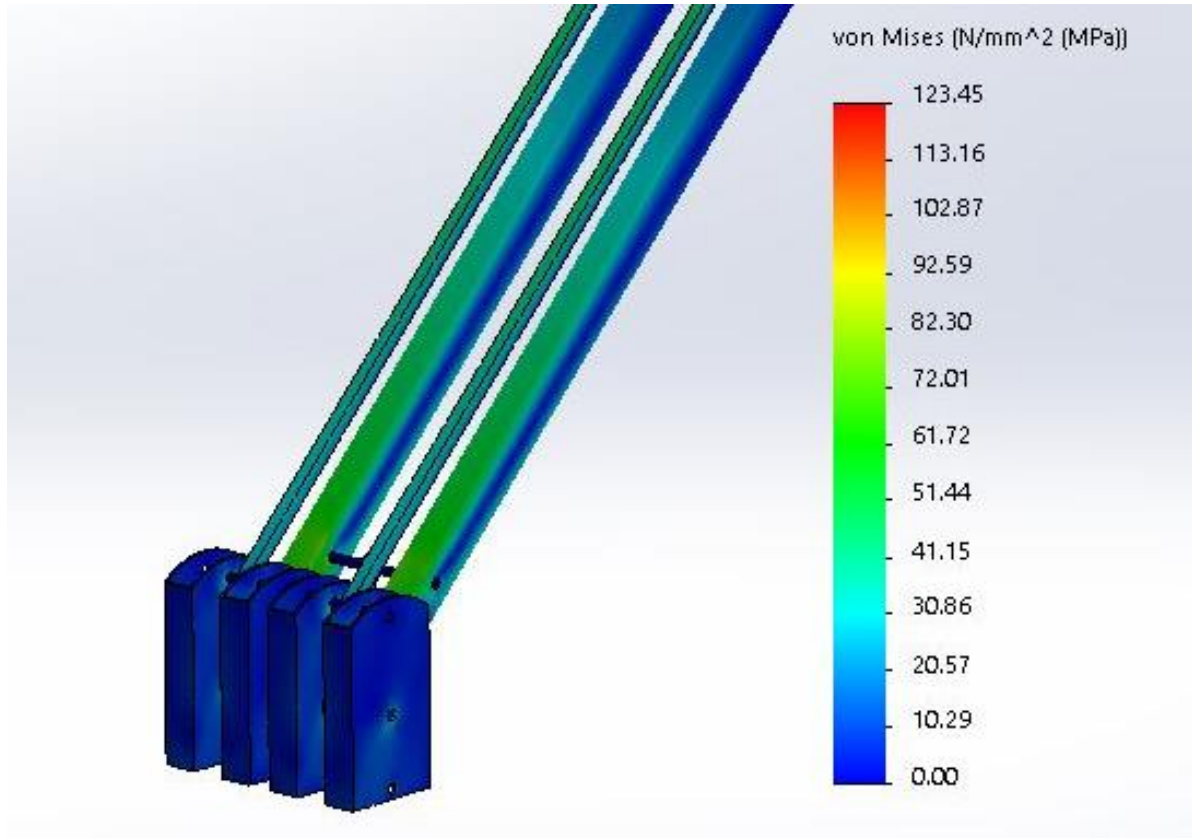


Fig 186. Reparto de tensiones en la estructura



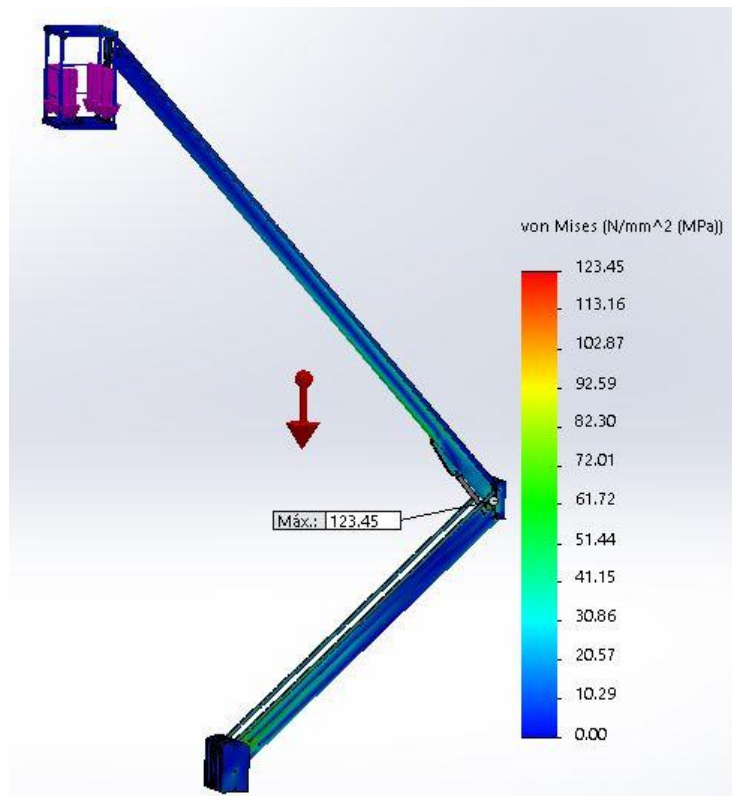


Fig 187. Reparto de tensiones en la estructura

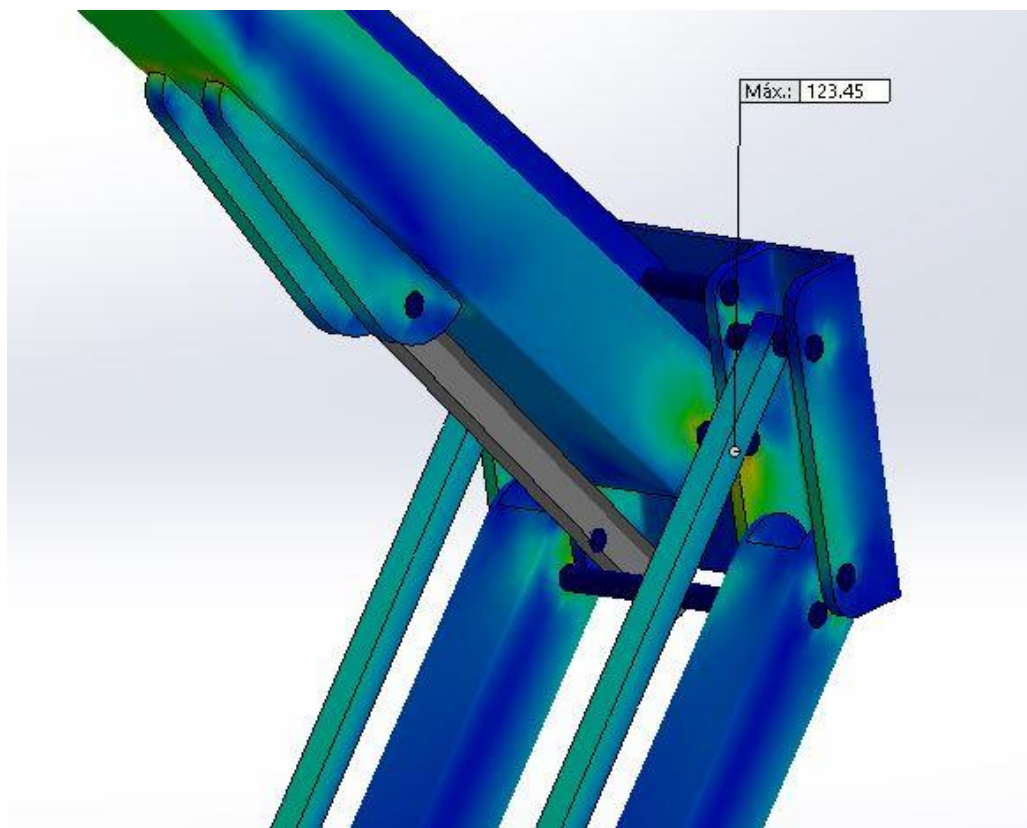


Fig 188. Reparto de tensiones en la estructura



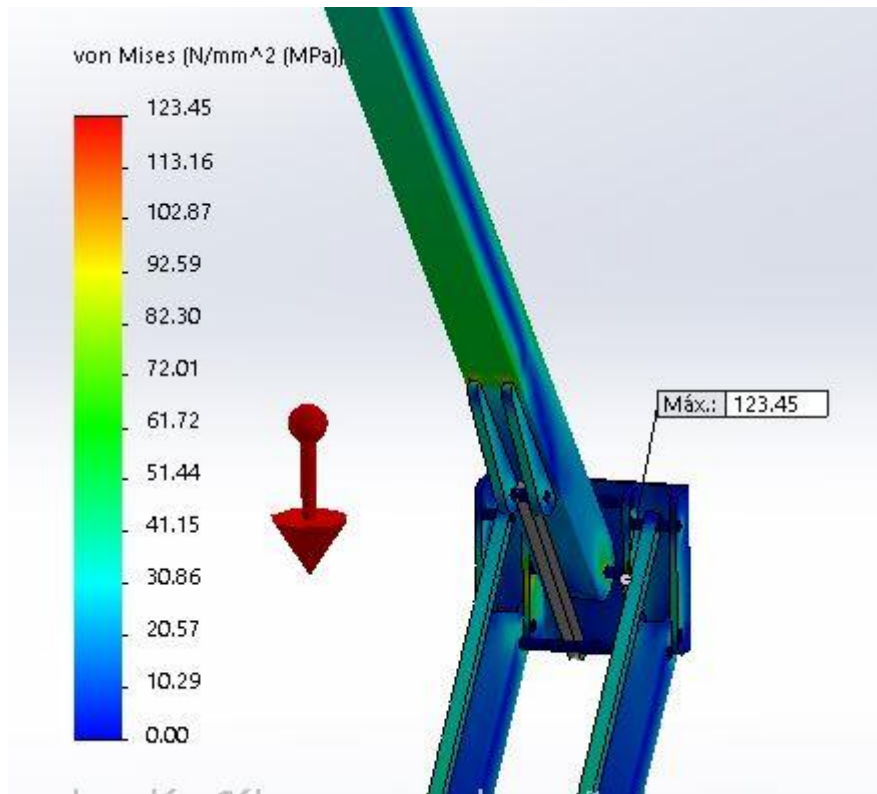


Fig 189. Reparto de tensiones en la estructura

**ALFA= 0; ALFA=0**

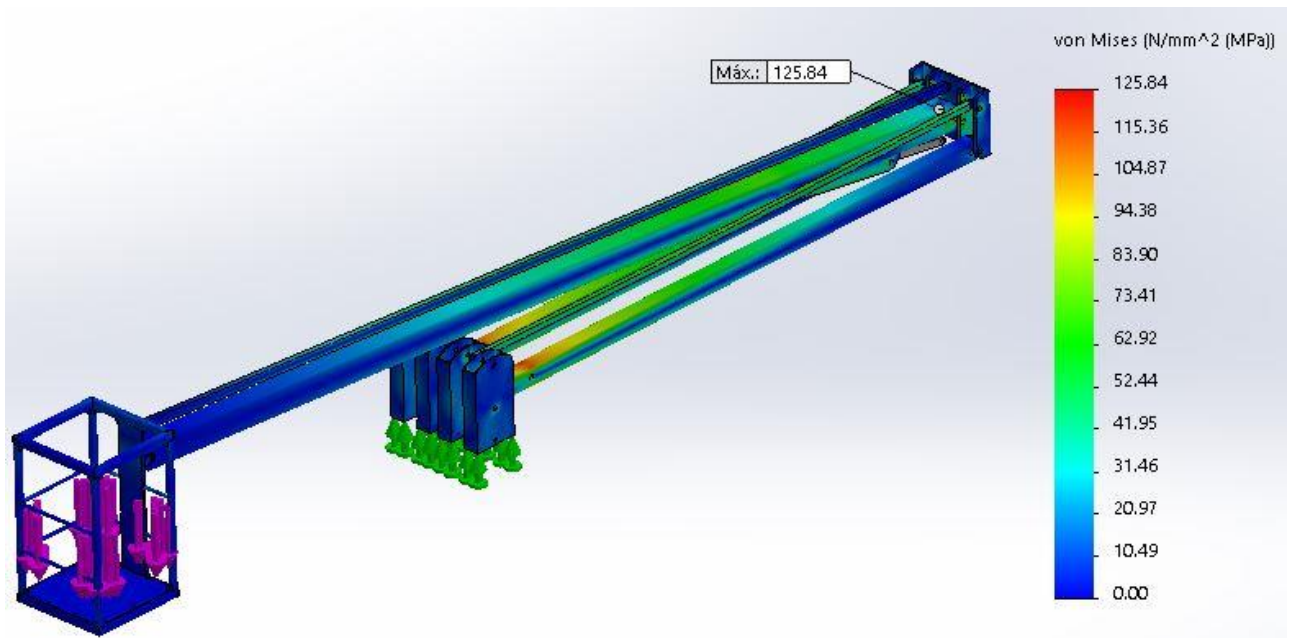


Fig 190. Reparto de tensiones en la estructura

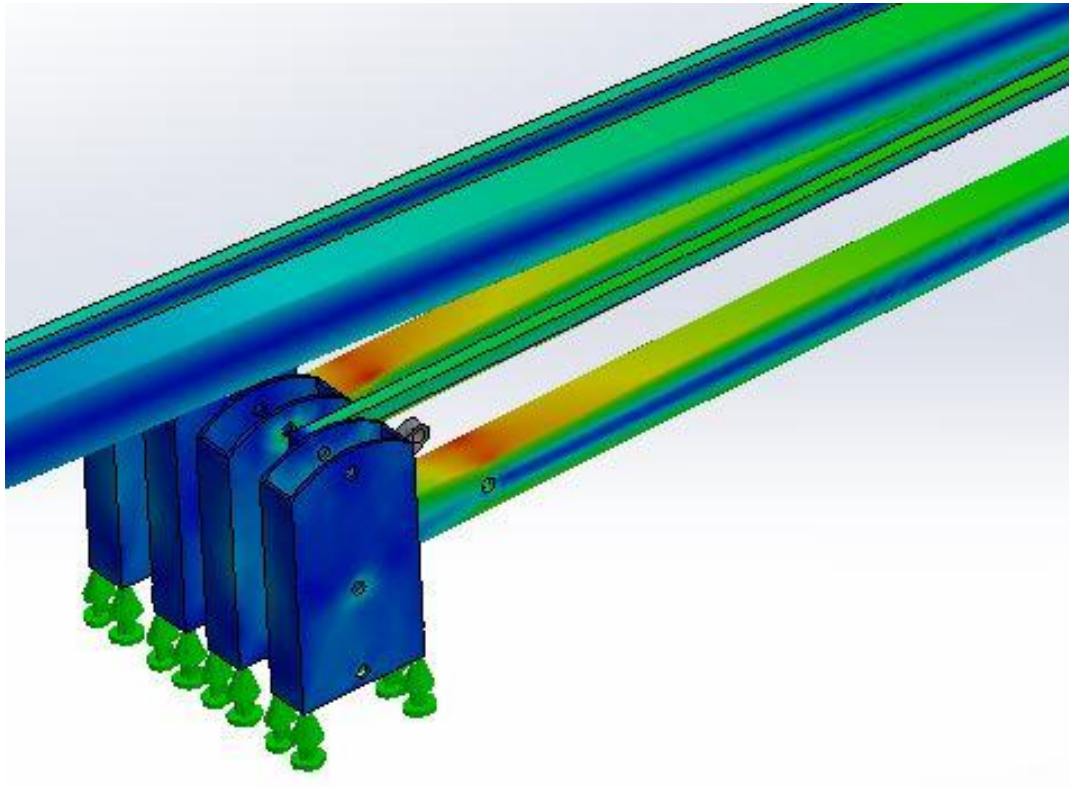


Fig 191. Reparto de tensiones en la estructura

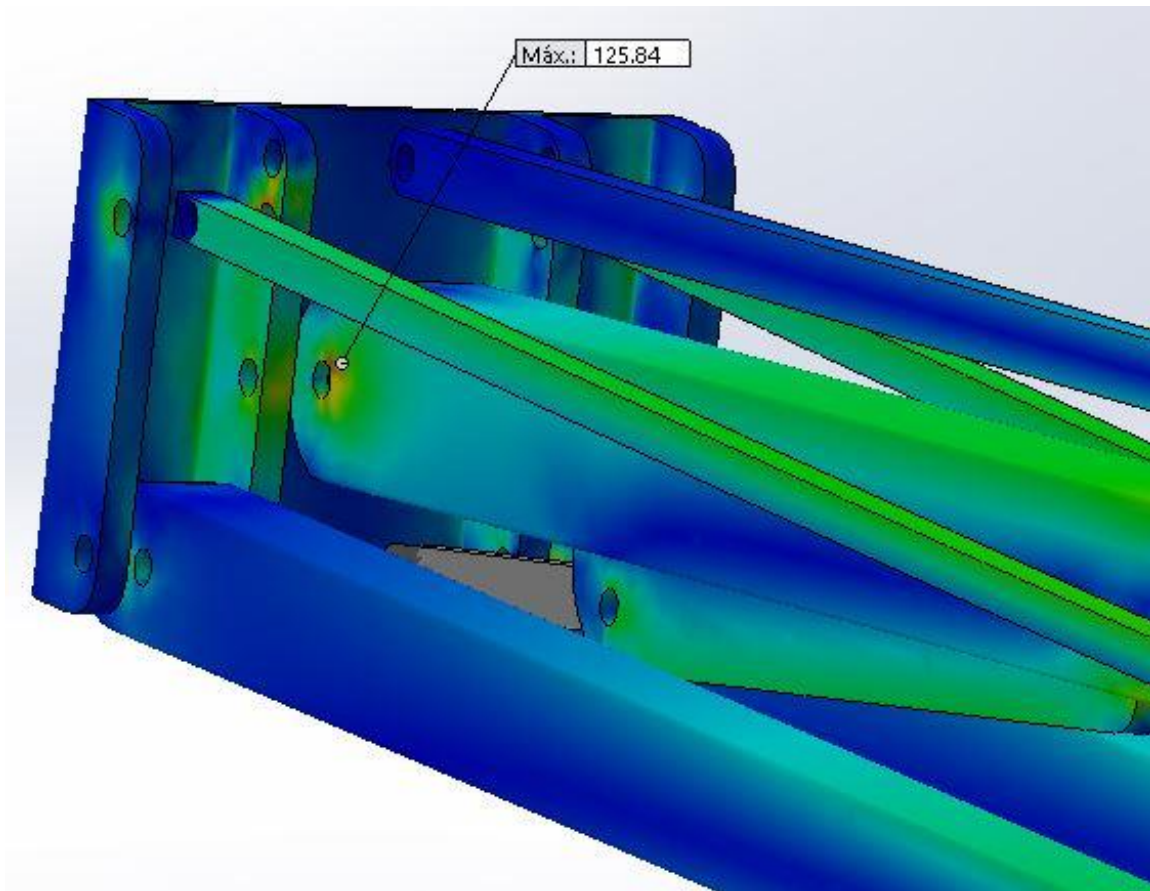


Fig 192. Reparto de tensiones en la estructura

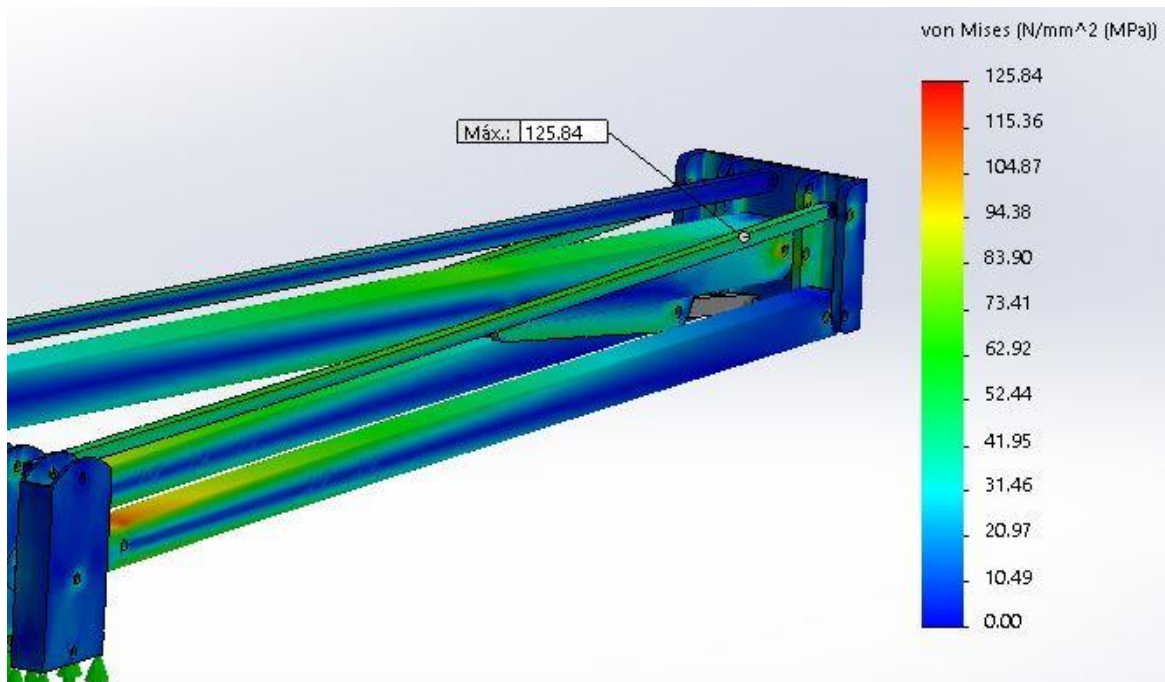


Fig 193. Reparto de tensiones en la estructura

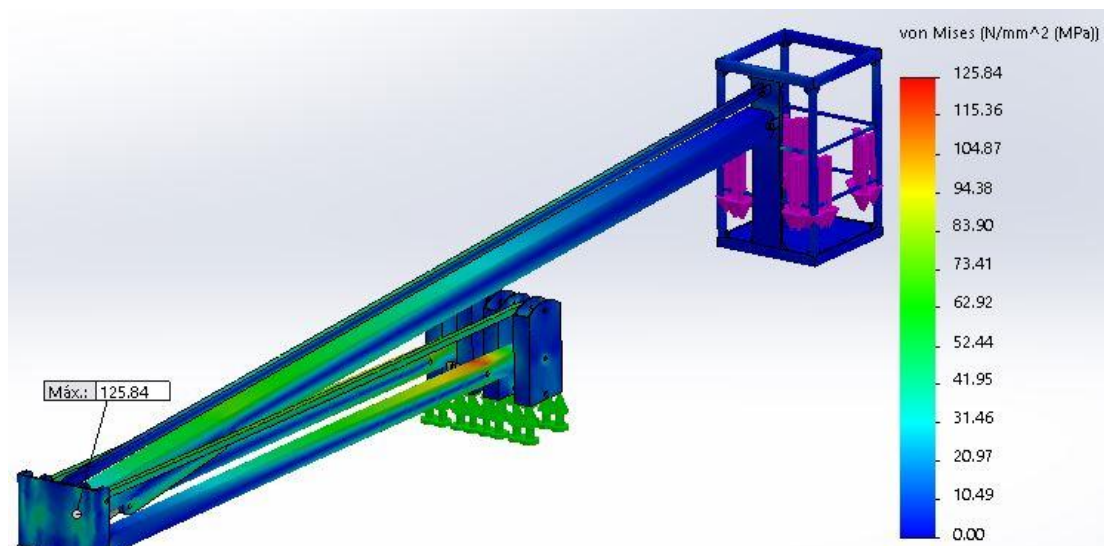


Fig 194. Reparto de tensiones en la estructura

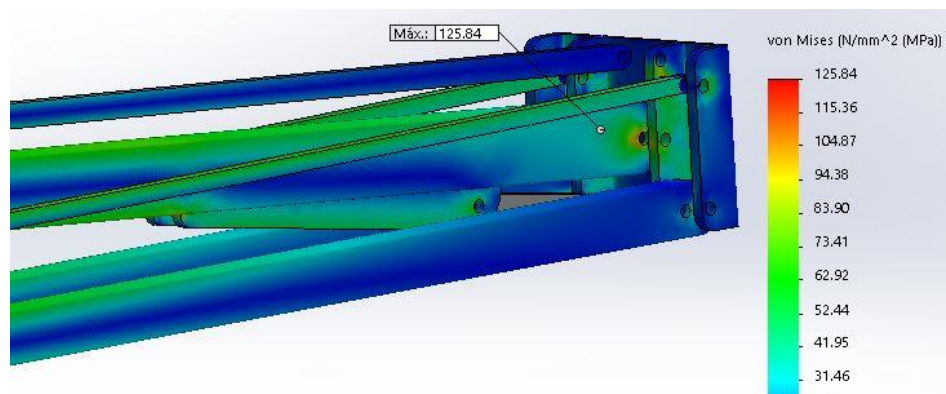


Fig 195. Reparto de tensiones en la estructura

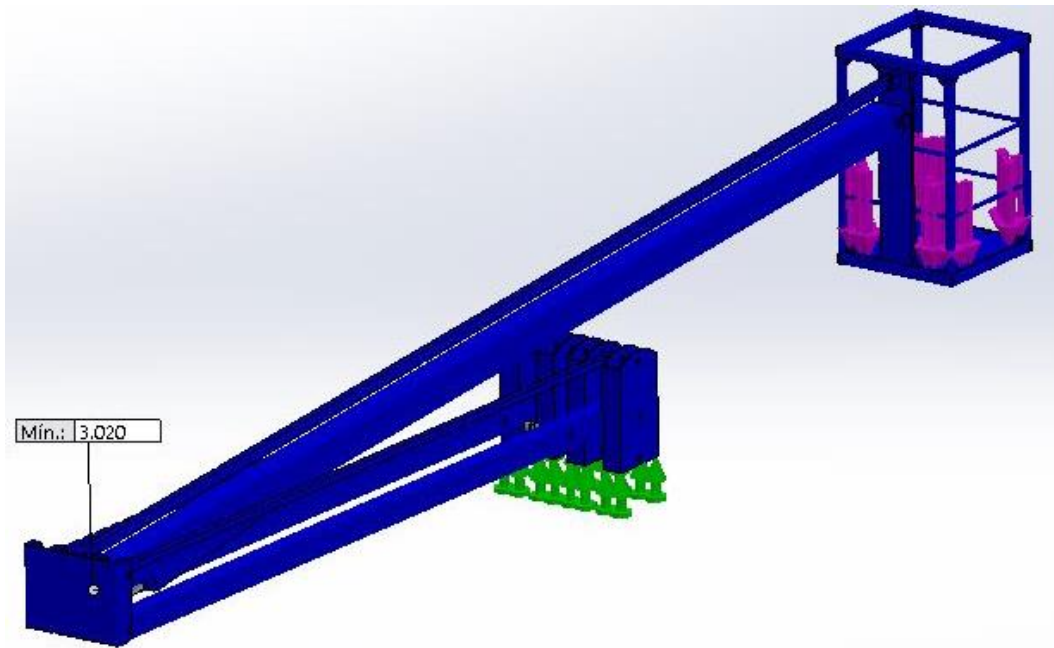


Fig 196. Coeficiente de seguridad mínimo

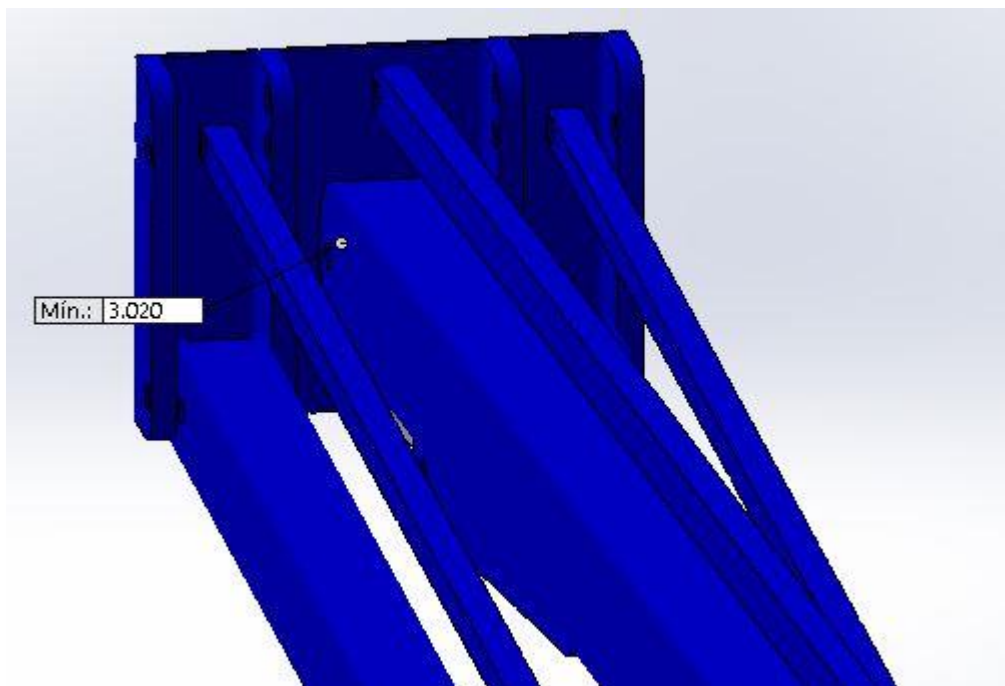


Fig 197. Coeficiente de seguridad mínimo



**ALFA= 22.5; GAMMA=22.5**

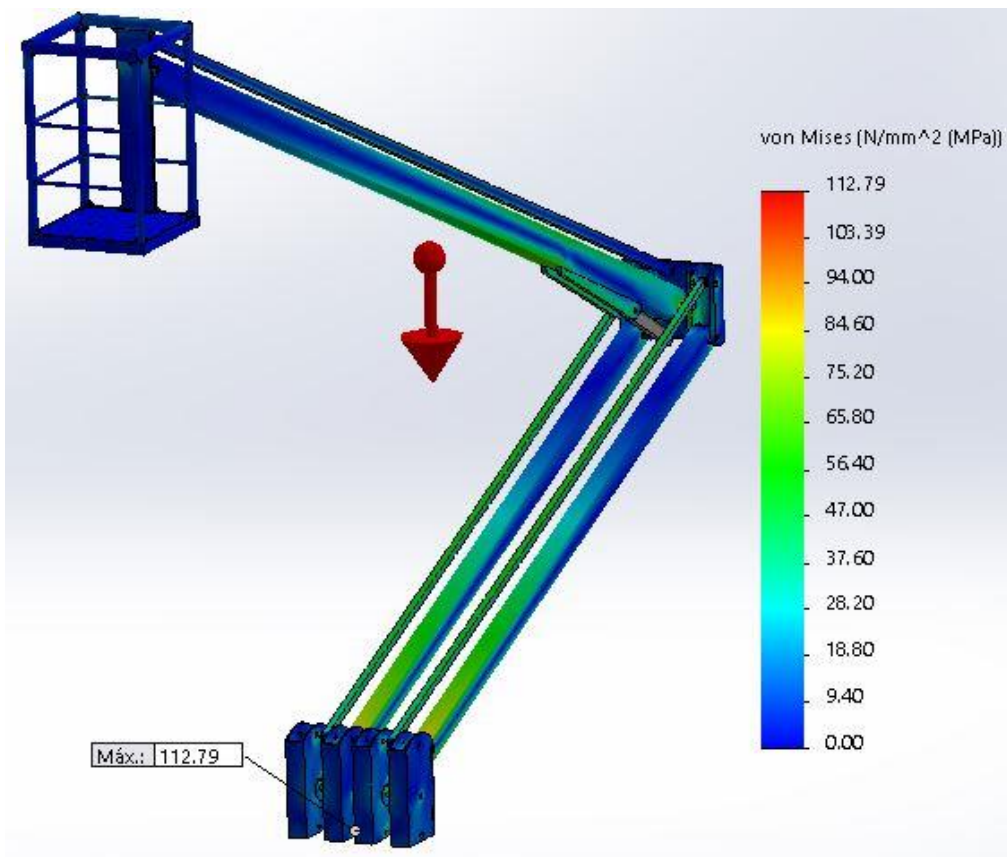


Fig 198. Reparto de tensiones en la estructura



Fig 199. Reparto de tensiones en la estructura

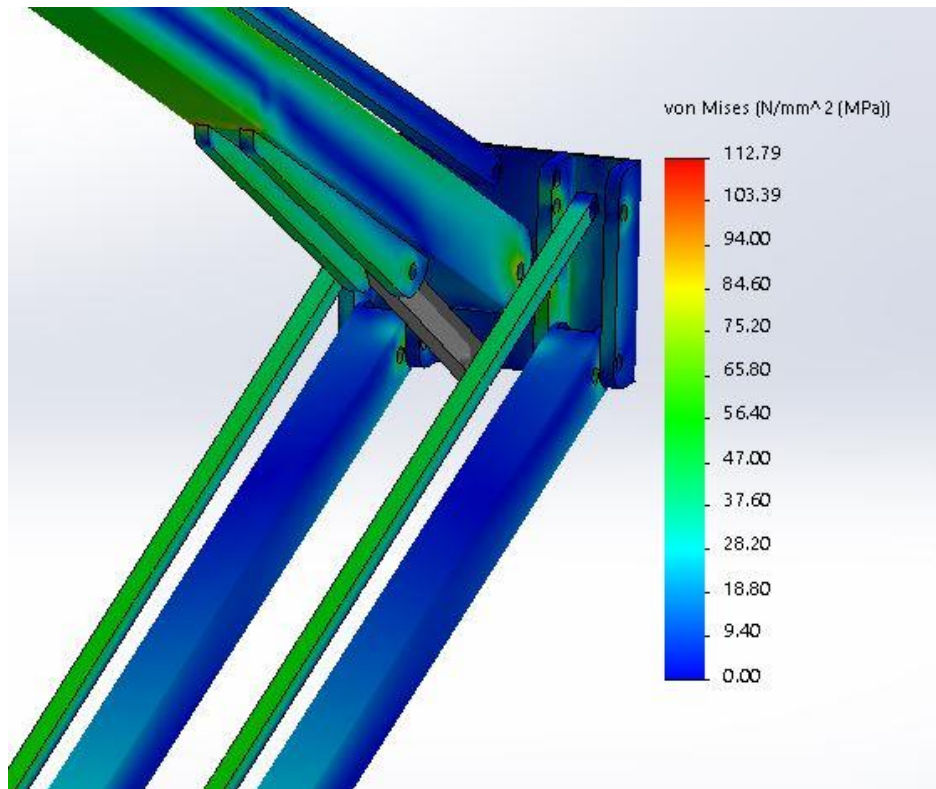


Fig 200. Reparto de tensiones en la estructura

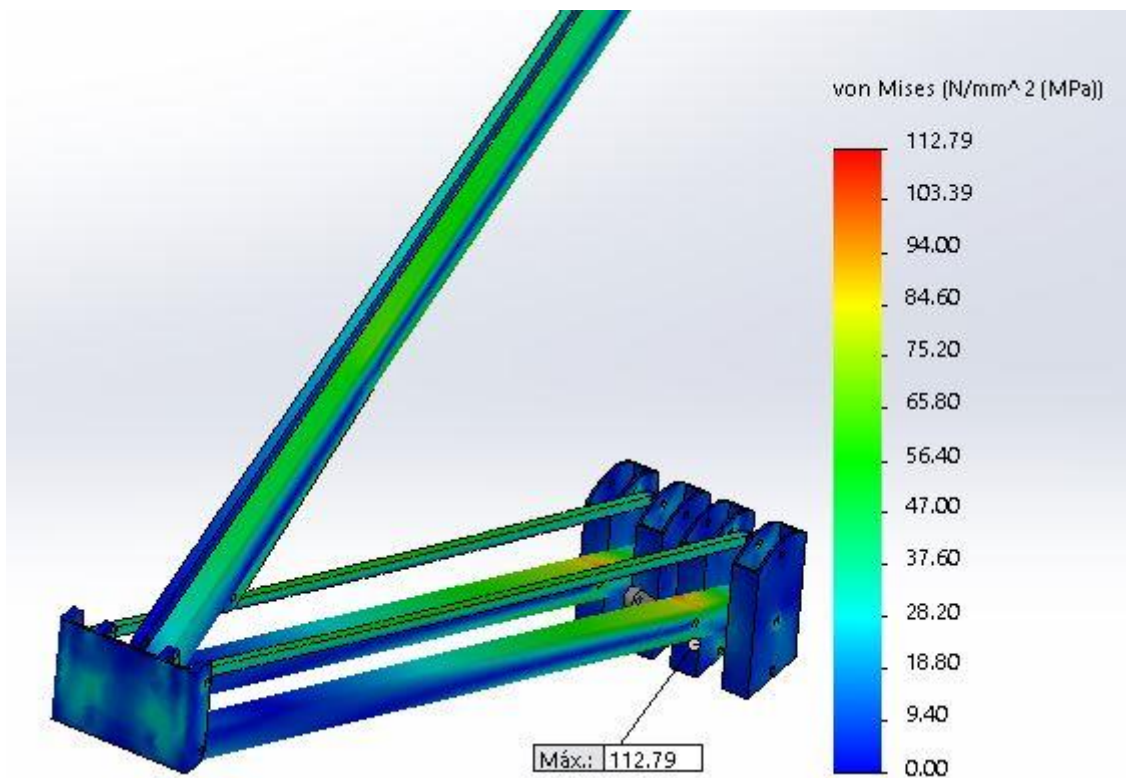


Fig 201. Reparto de tensiones en la estructura

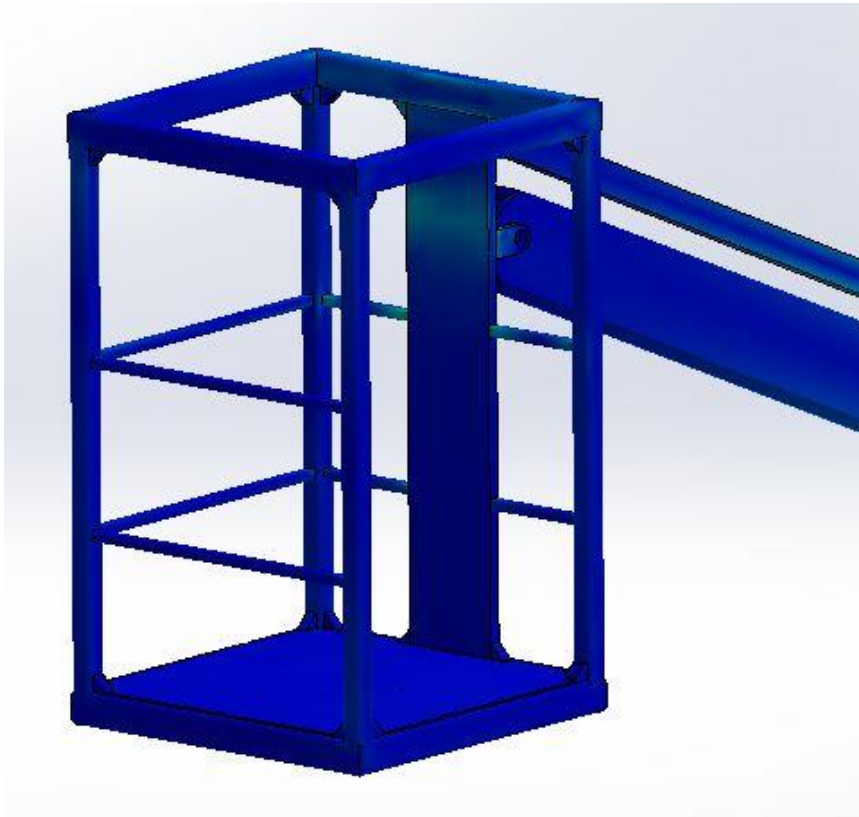


Fig 202. Reparto de tensiones en la estructura

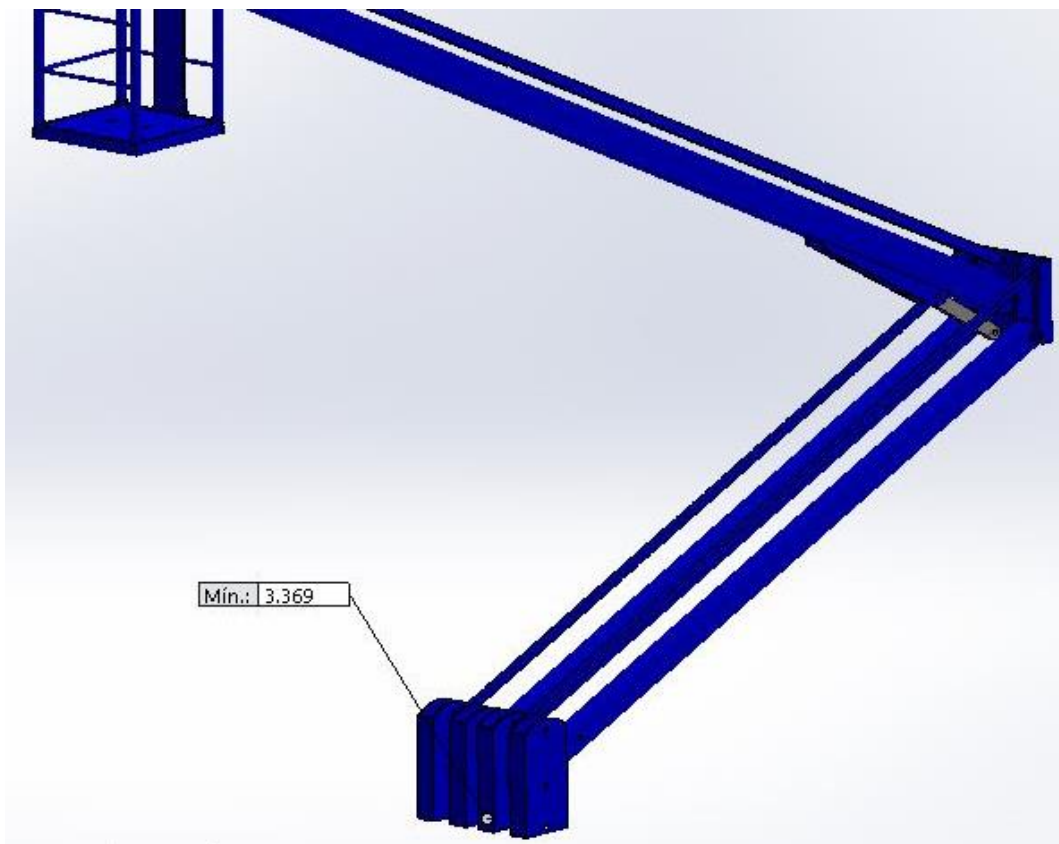


Fig 203. Coeficiente de seguridad mínimo

**ALFA= 0; GAMMA=22.5**

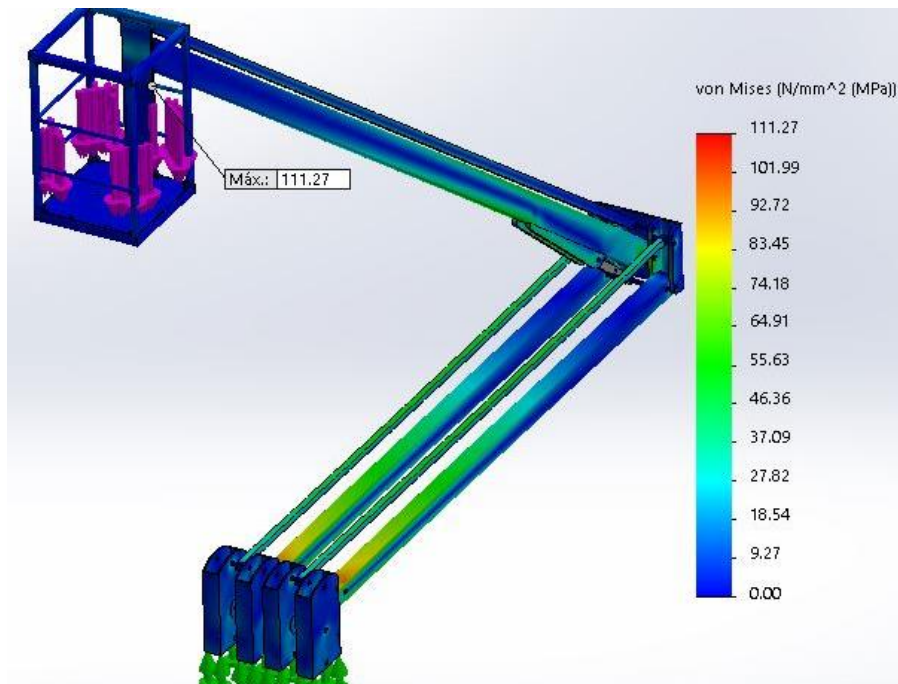


Fig 204. Reparto de tensiones en la estructura

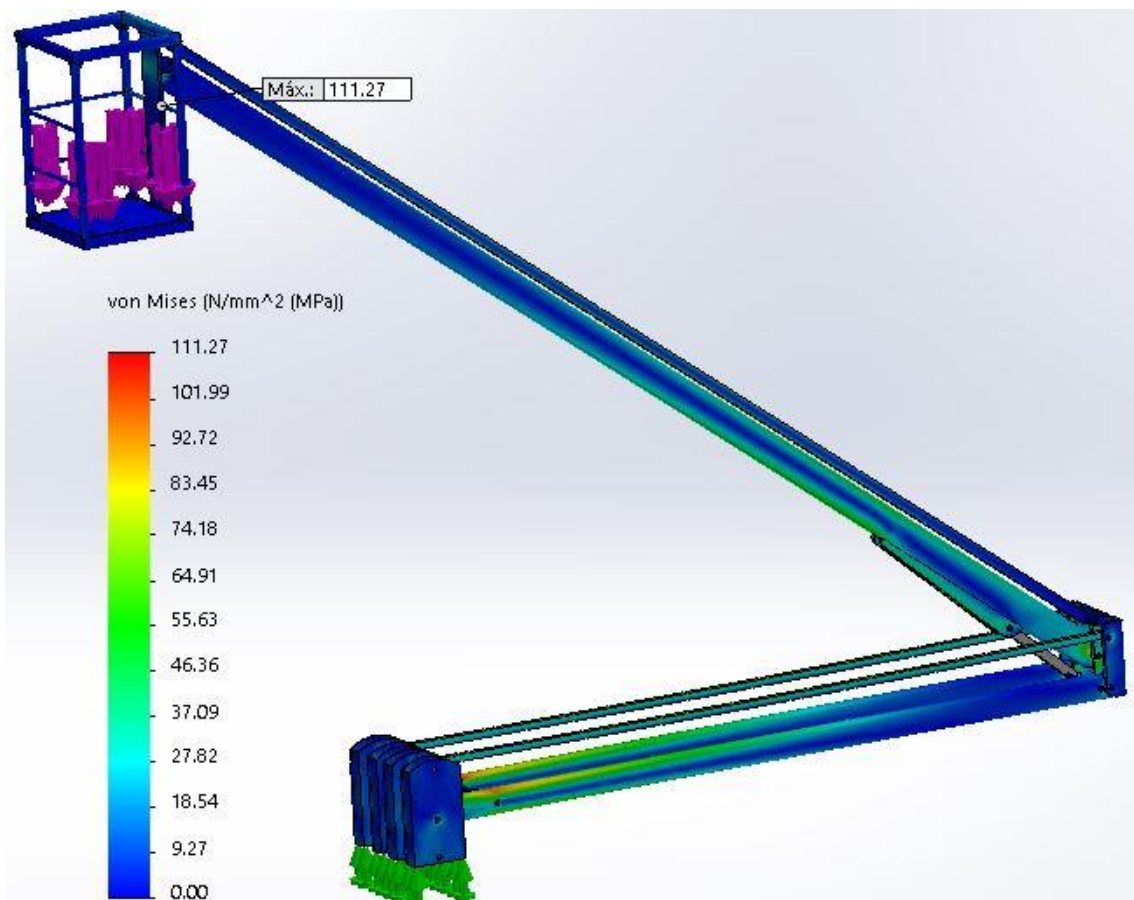


Fig 205. Reparto de tensiones en la estructura



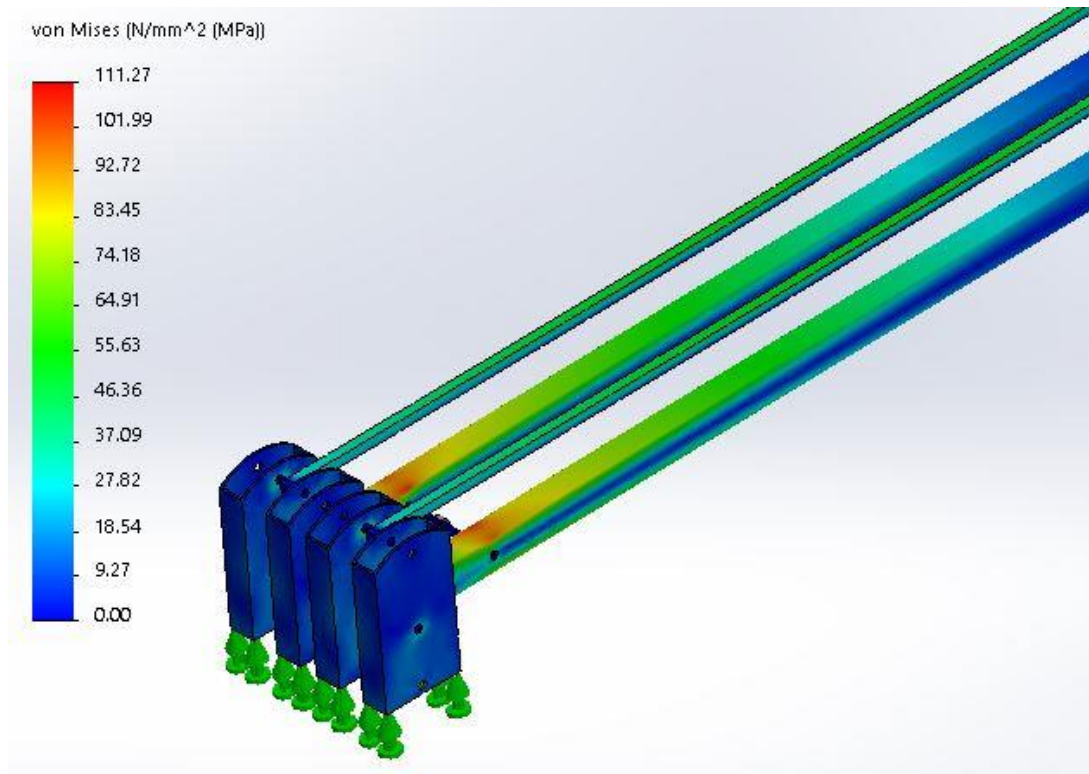


Fig 206. Reparto de tensiones en la estructura

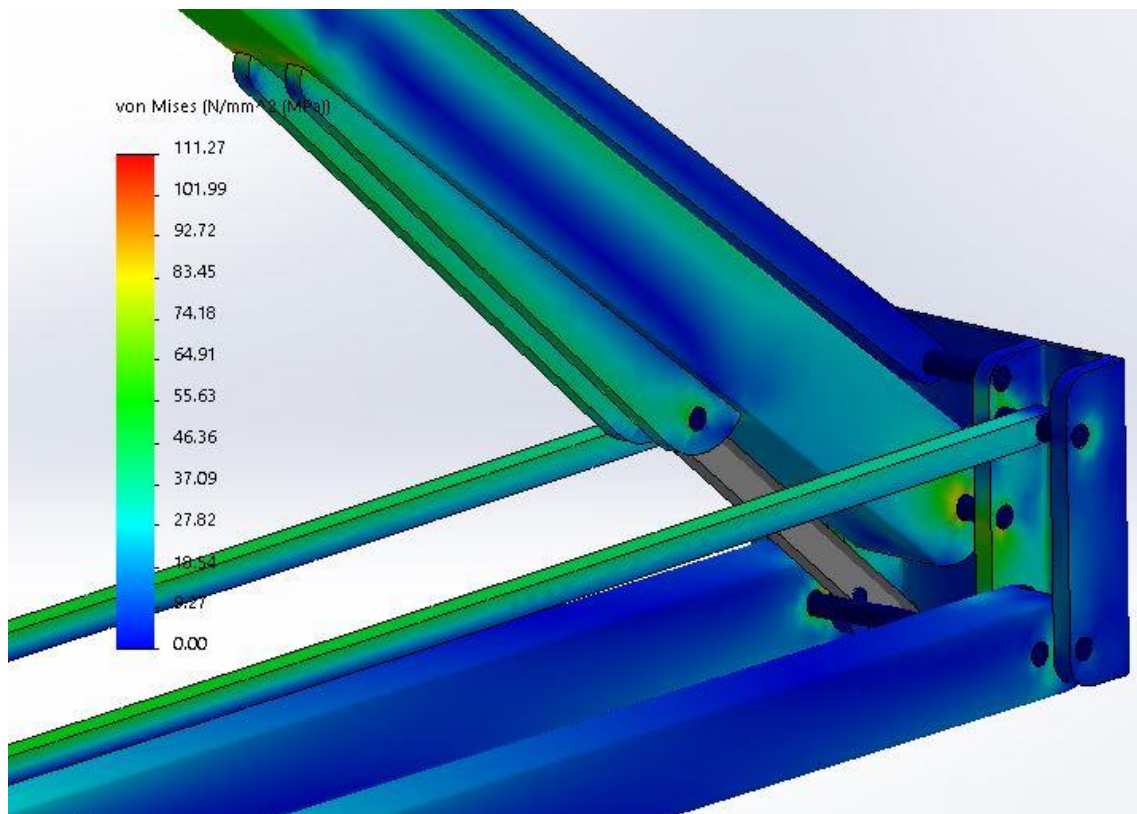


Fig 207. Reparto de tensiones en la estructura

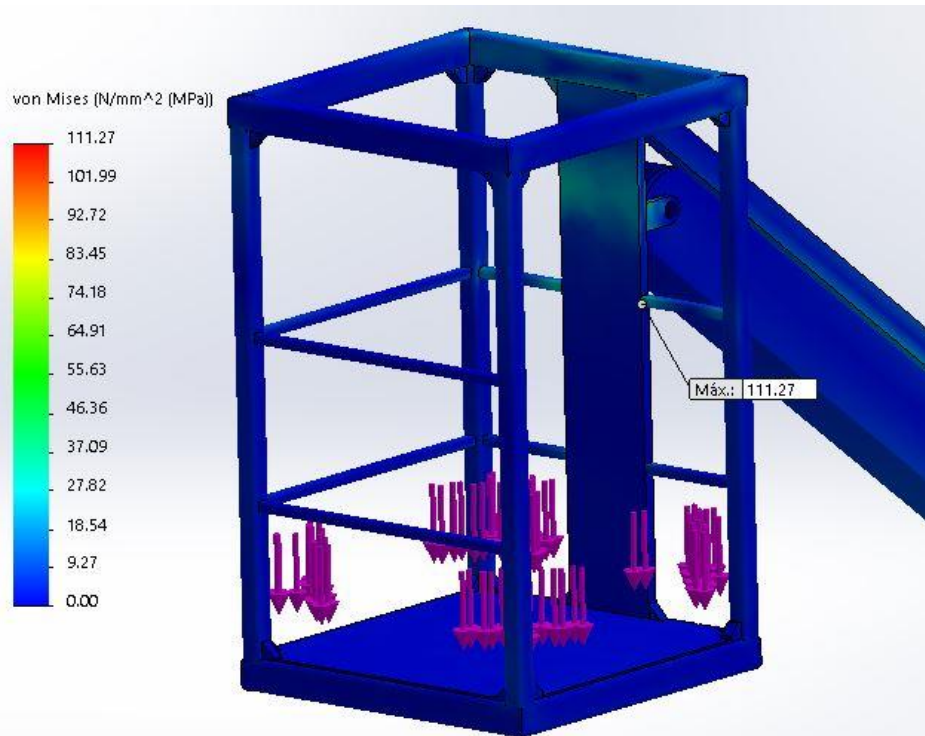


Fig 208. Reparto de tensiones en la estructura

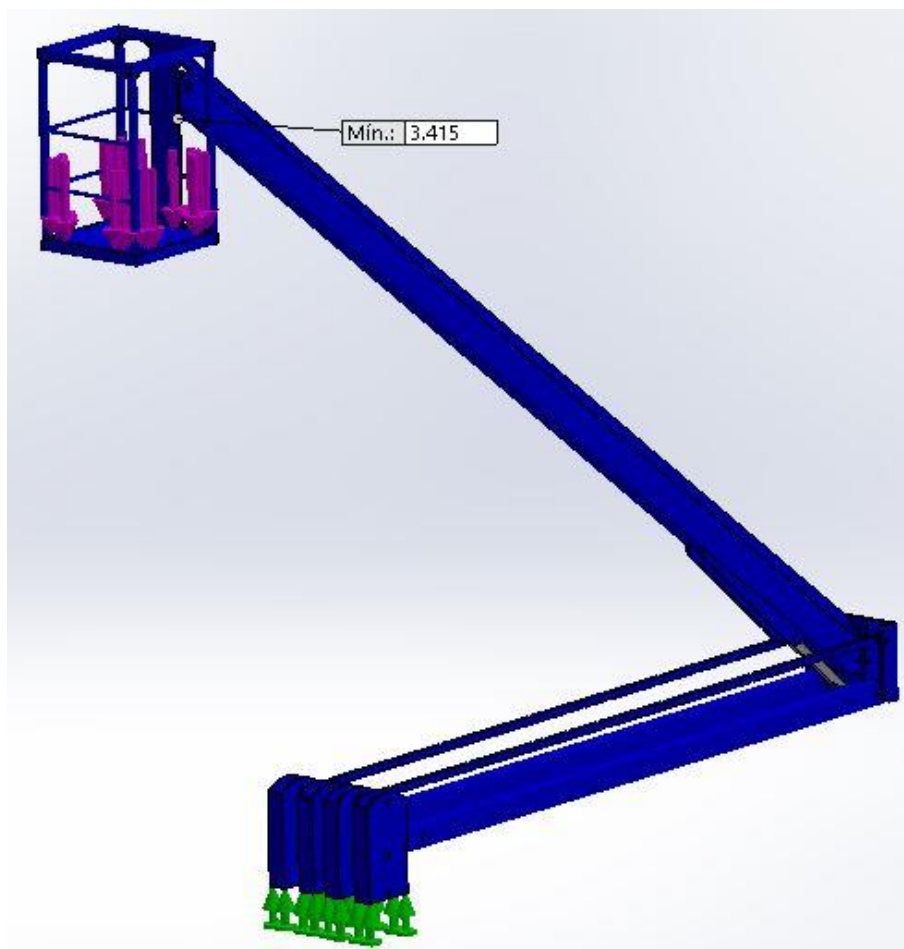


Fig 209. Coeficiente de seguridad mínimo

**ALFA= 45; GAMMA=0**

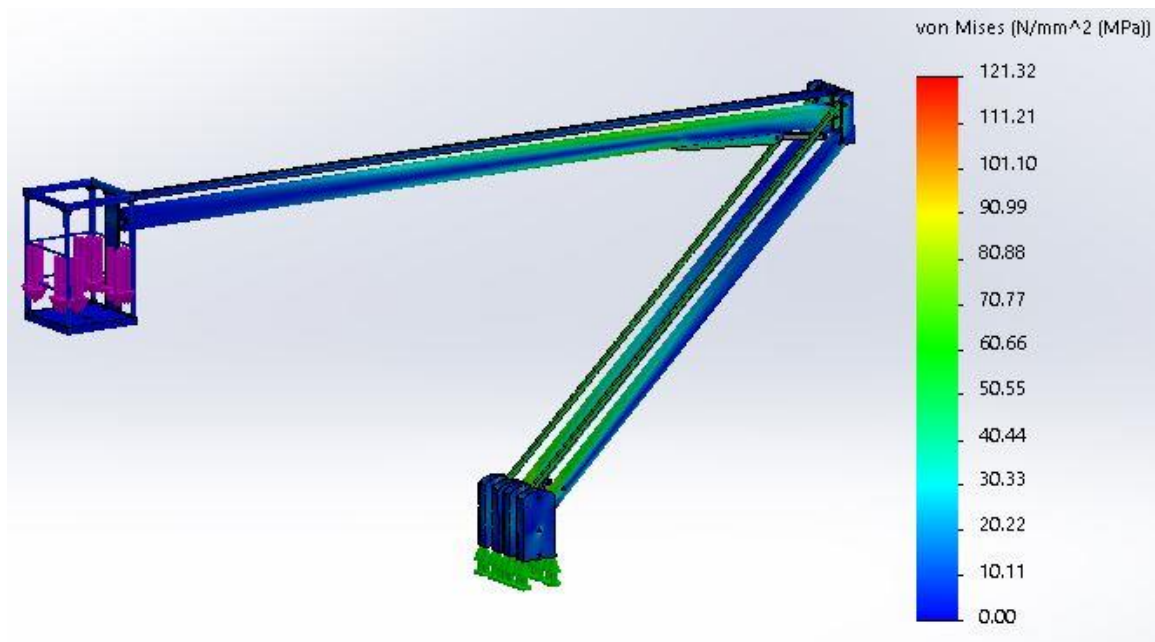


Fig 210. Reparto de tensiones en la estructura

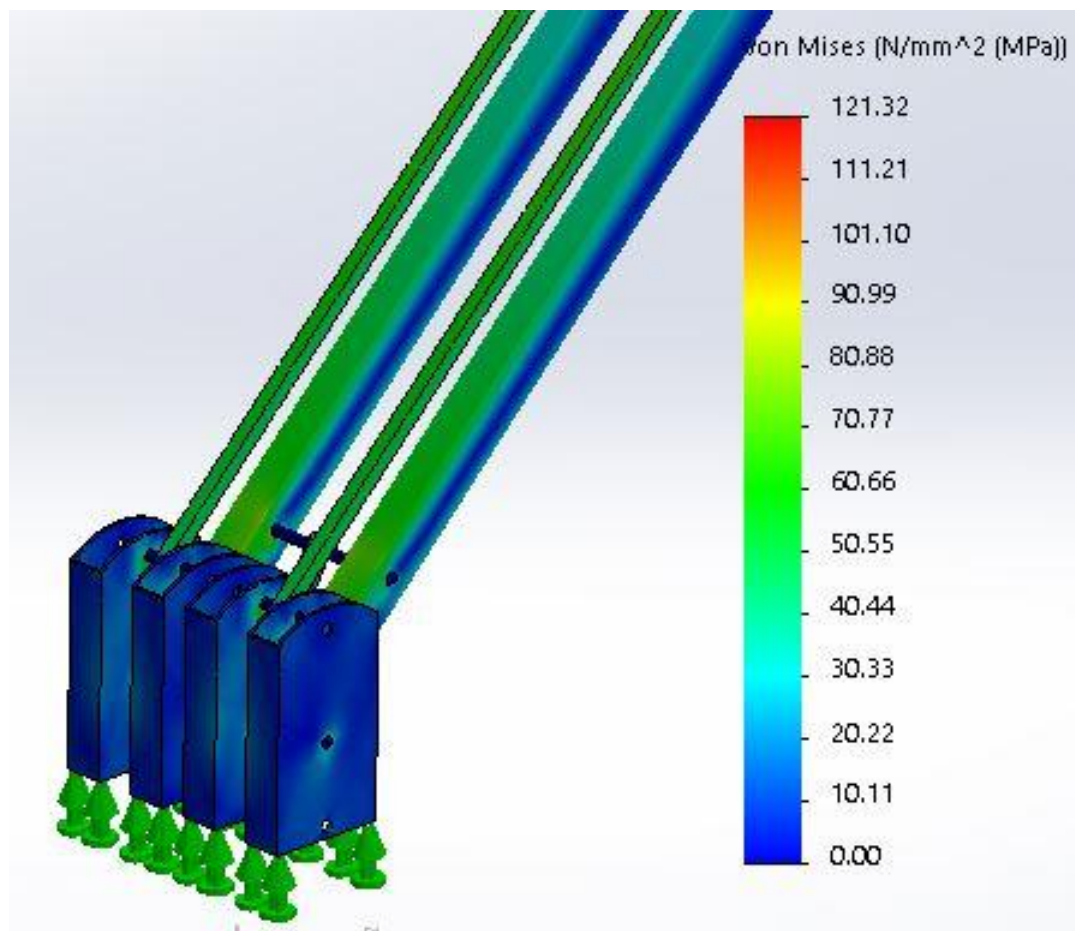


Fig 211. Reparto de tensiones en la estructura



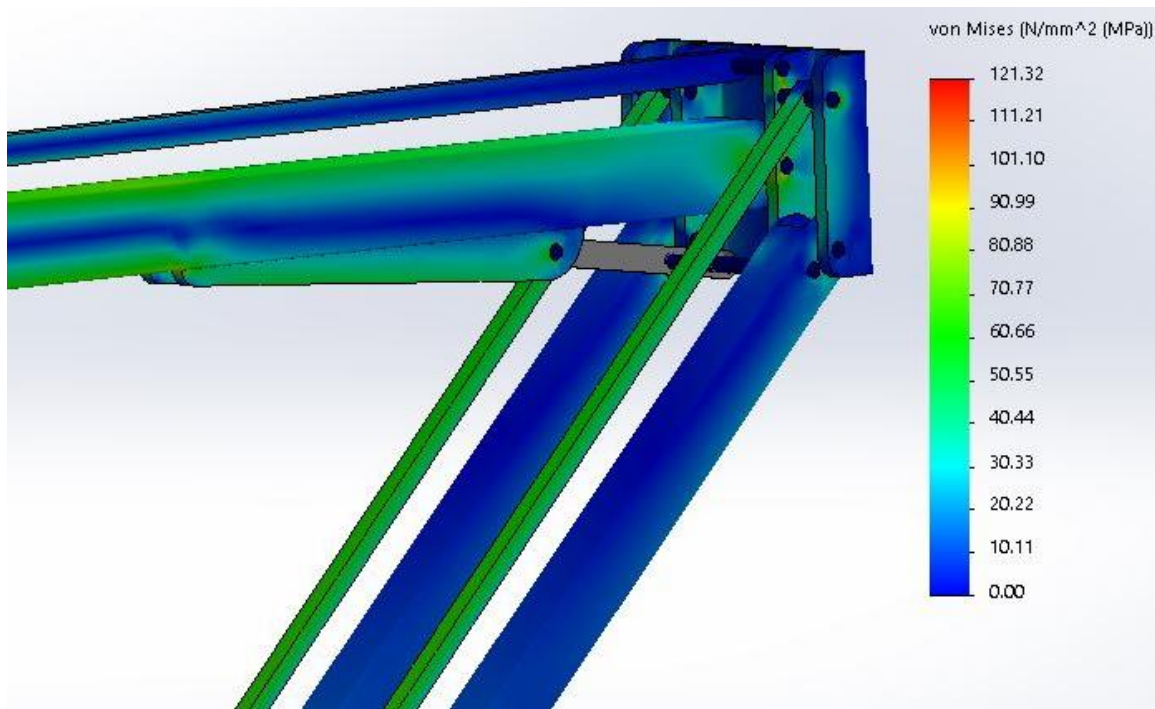


Fig 212. Reparto de tensiones en la estructura

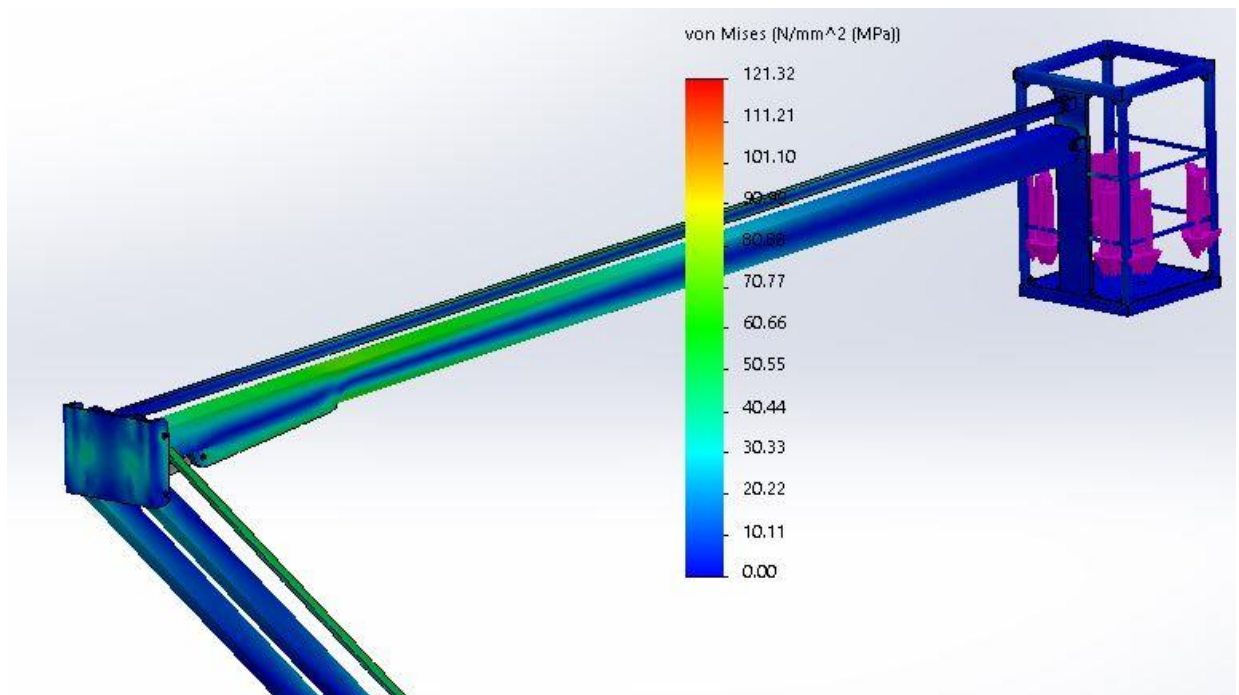


Fig 213. Reparto de tensiones en la estructura

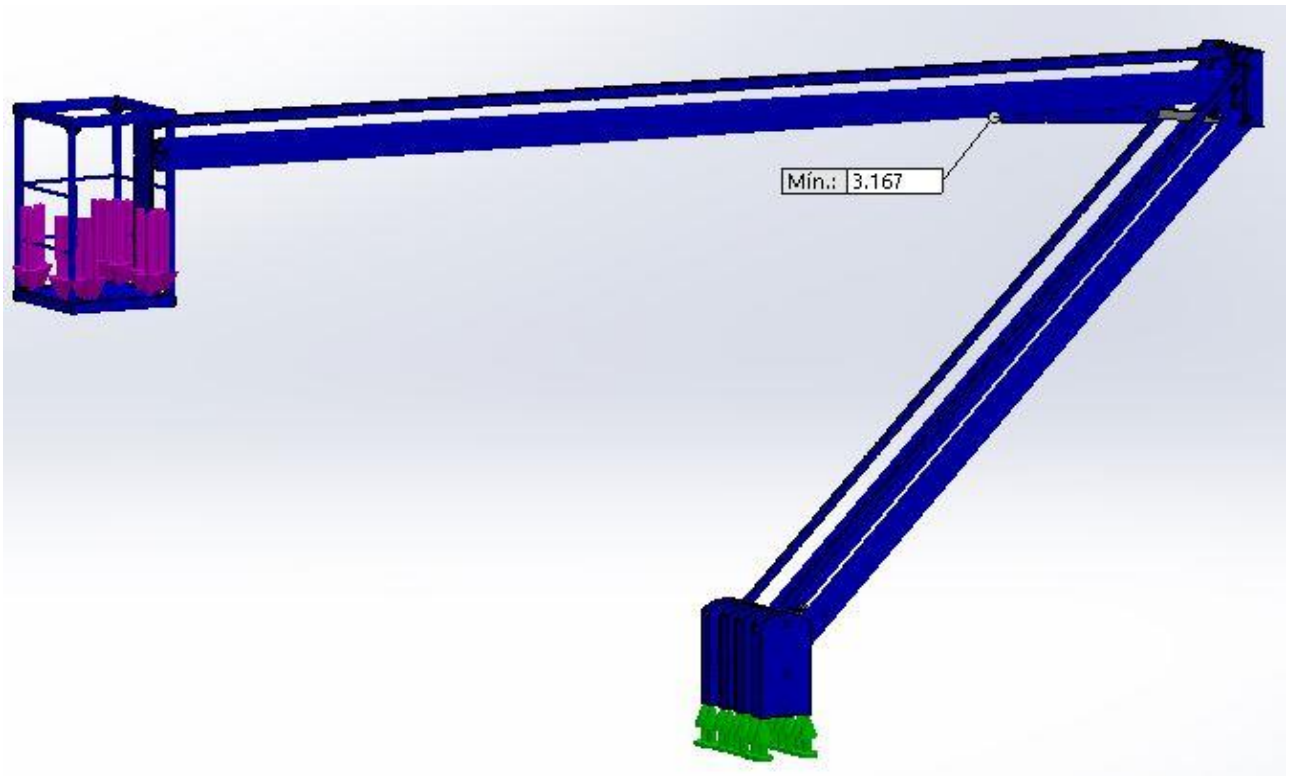


Fig 214. Coeficiente de seguridad mínimo

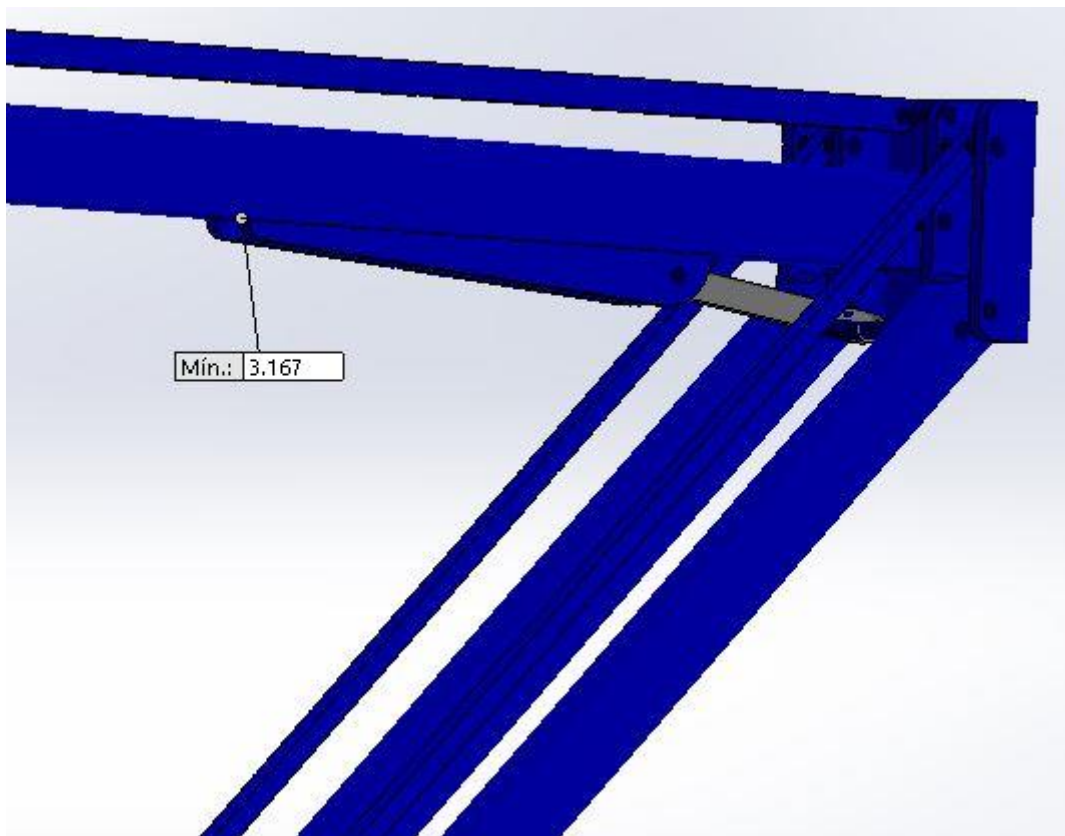


Fig 215. Coeficiente de seguridad mínimo

**ALFA= 22.5; GAMMA=45**

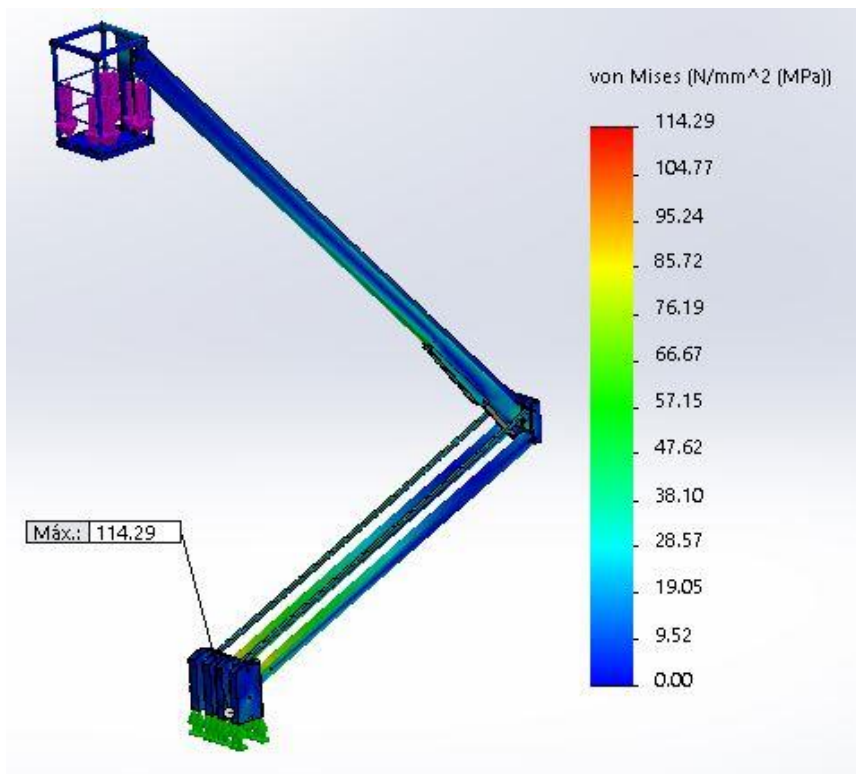


Fig 216. Reparto de tensiones en la estructura

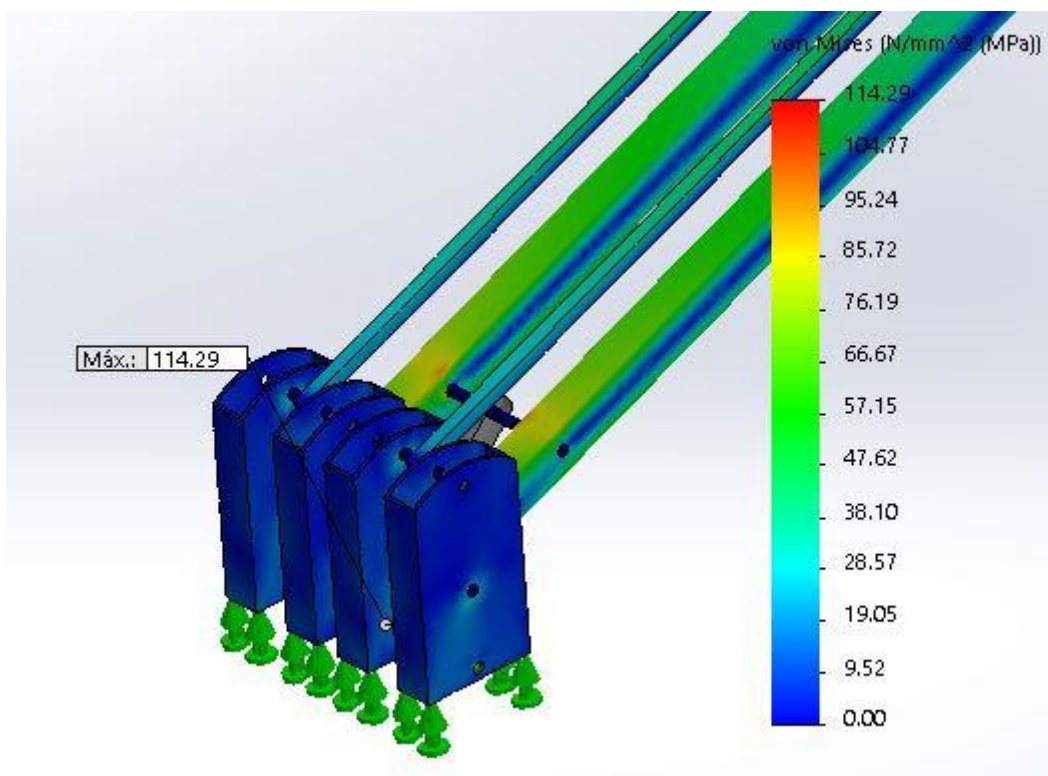


Fig 217. Reparto de tensiones en la estructura

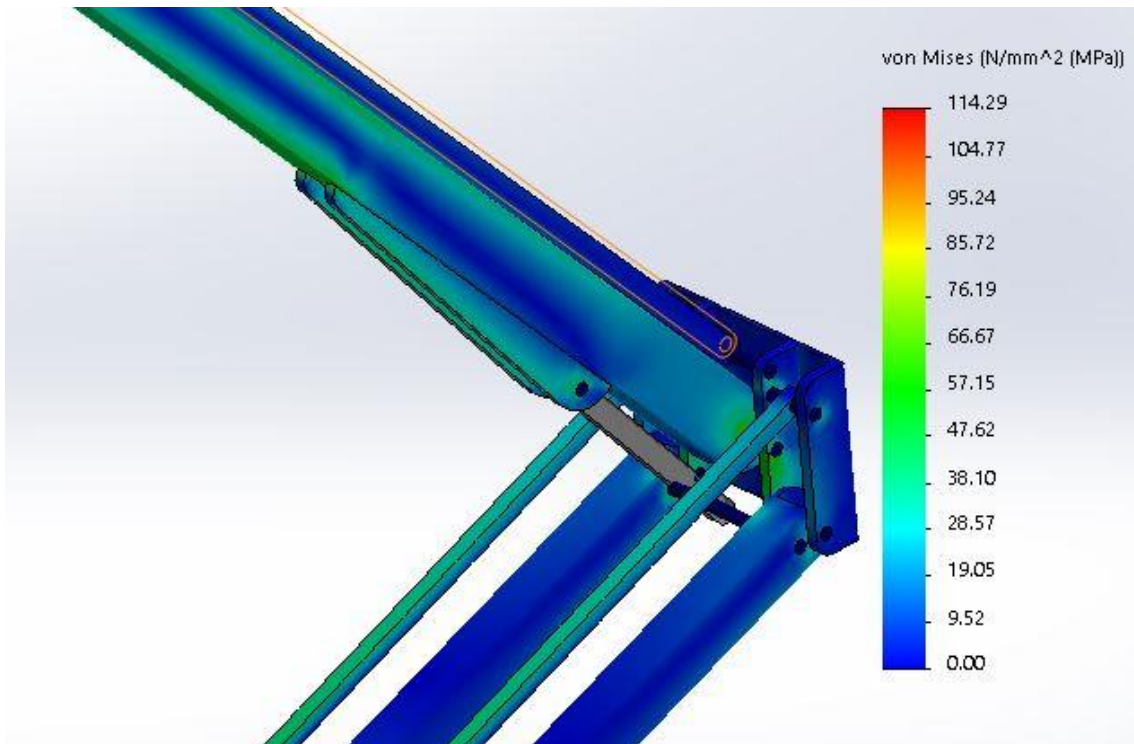


Fig 218. Reparto de tensiones en la estructura

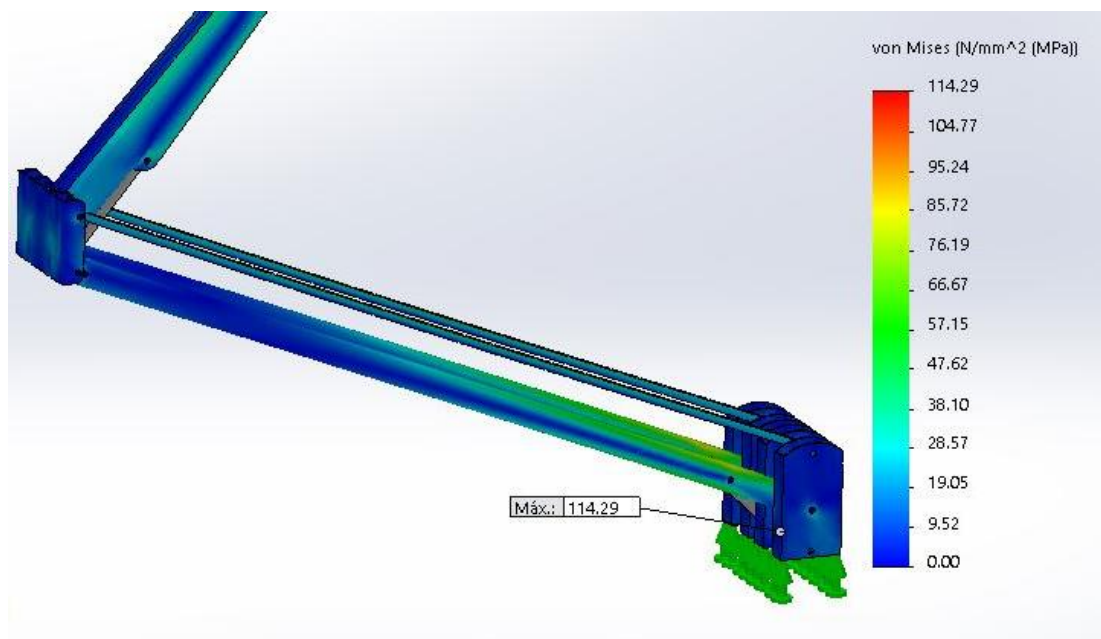


Fig 219. Reparto de tensiones en la estructura



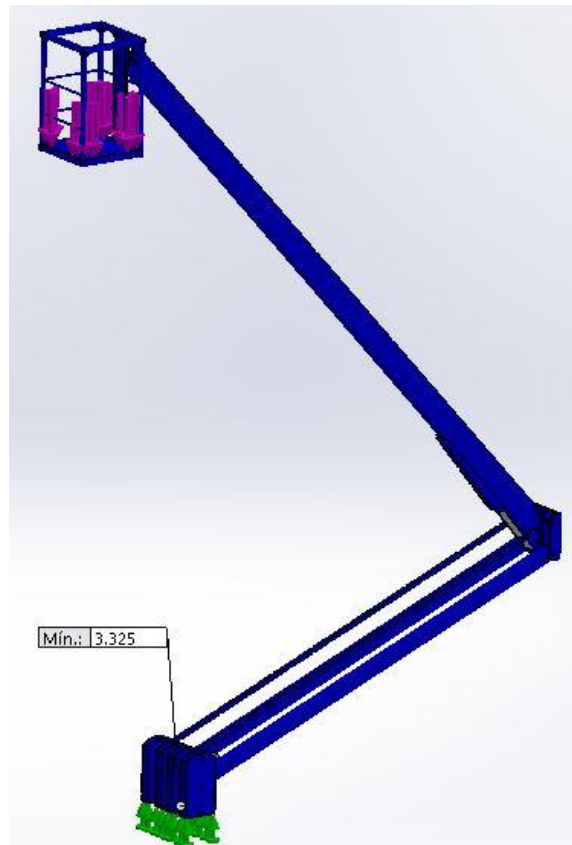


Fig 220. Coeficiente de seguridad mínimo

**ALFA= 45; GAMMA=22.5**

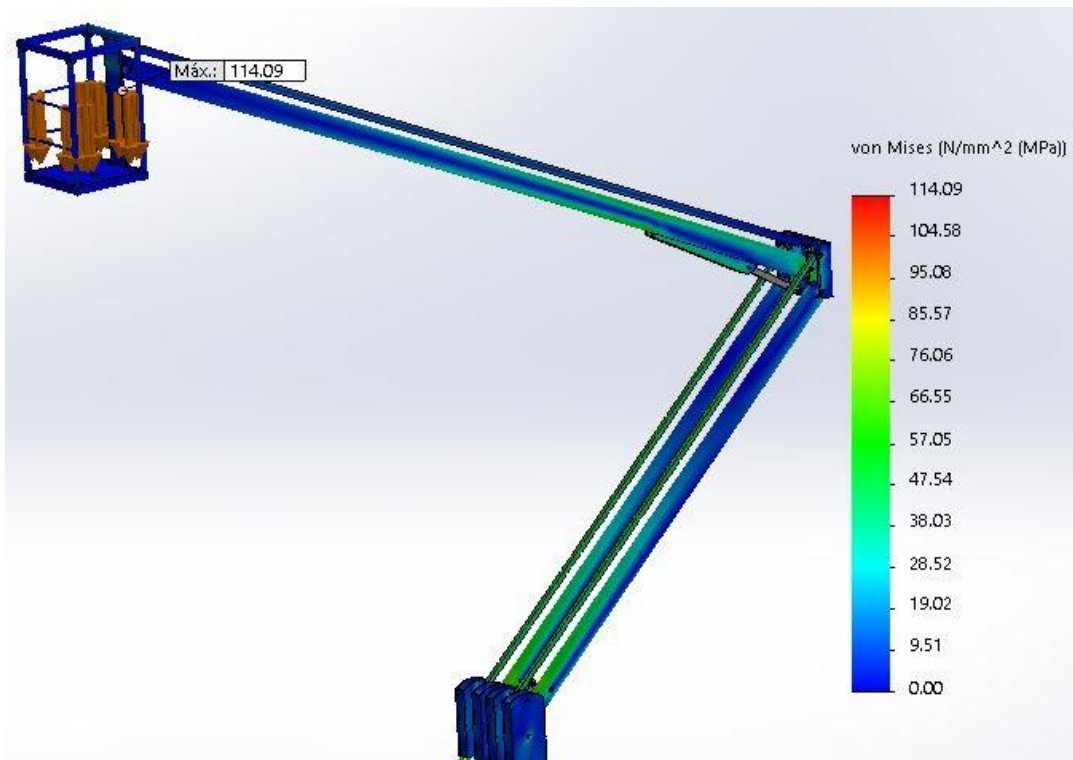


Fig 221. Reparto de tensiones en la estructura



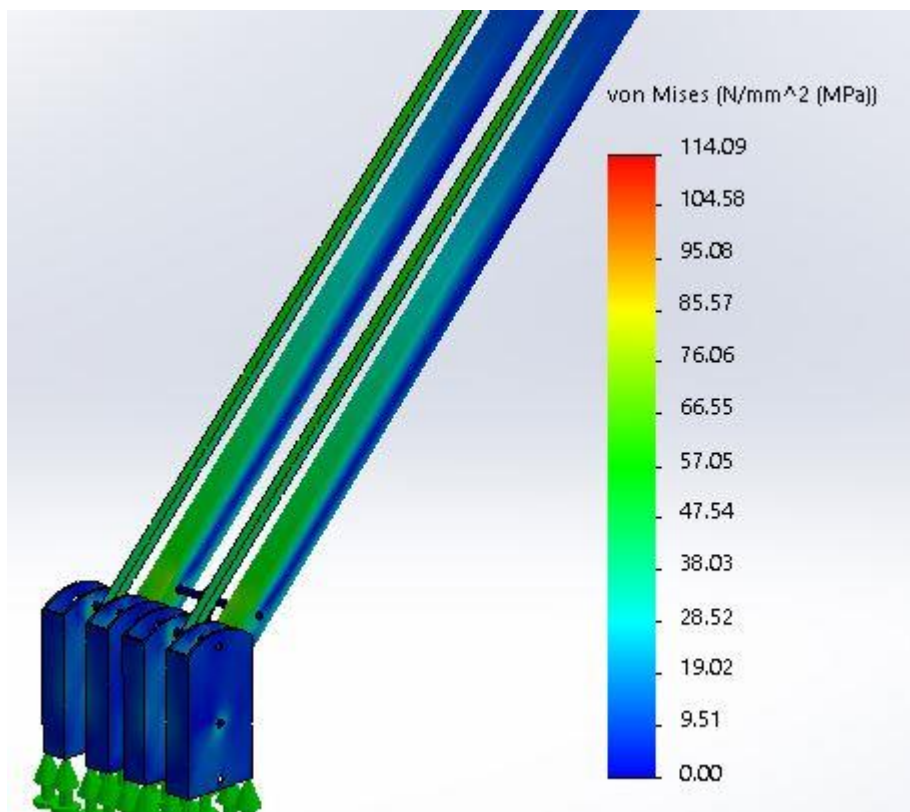


Fig 222. Reparto de tensiones en la estructura

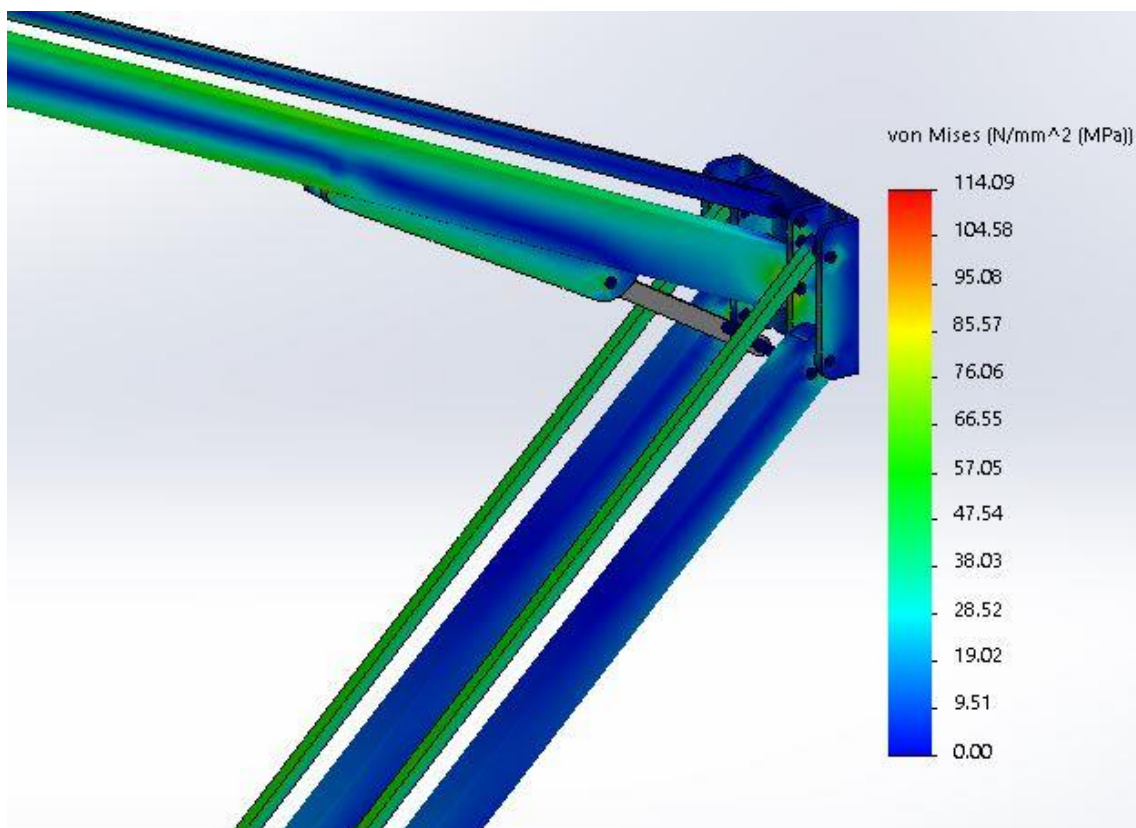


Fig 223. Reparto de tensiones en la estructura

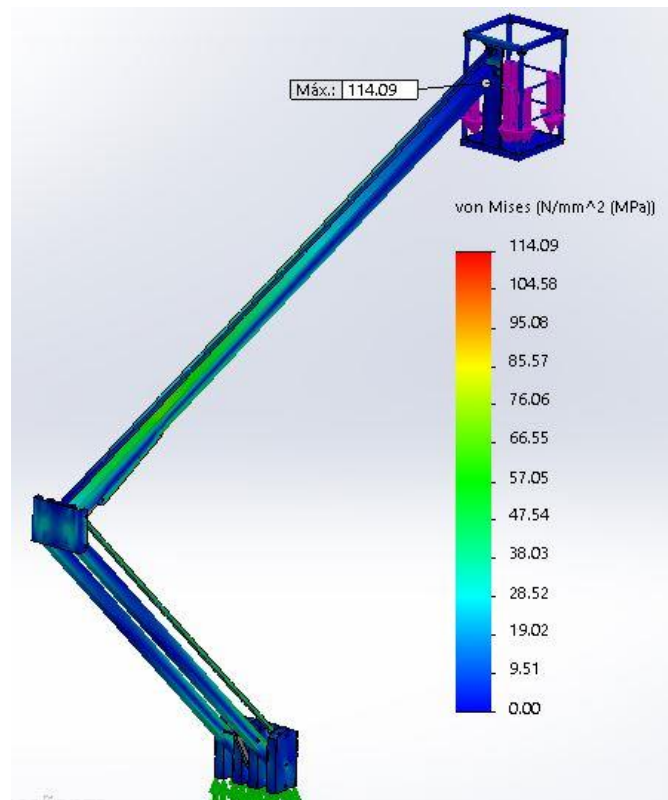


Fig 224. Reparto de tensiones en la estructura

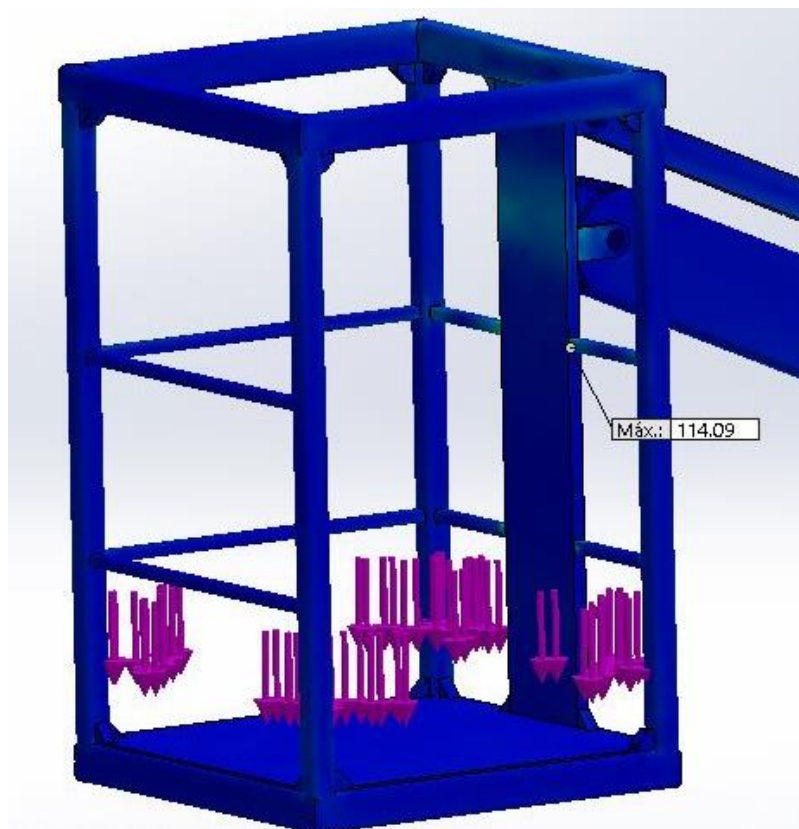


Fig 225. Reparto de tensiones en la estructura

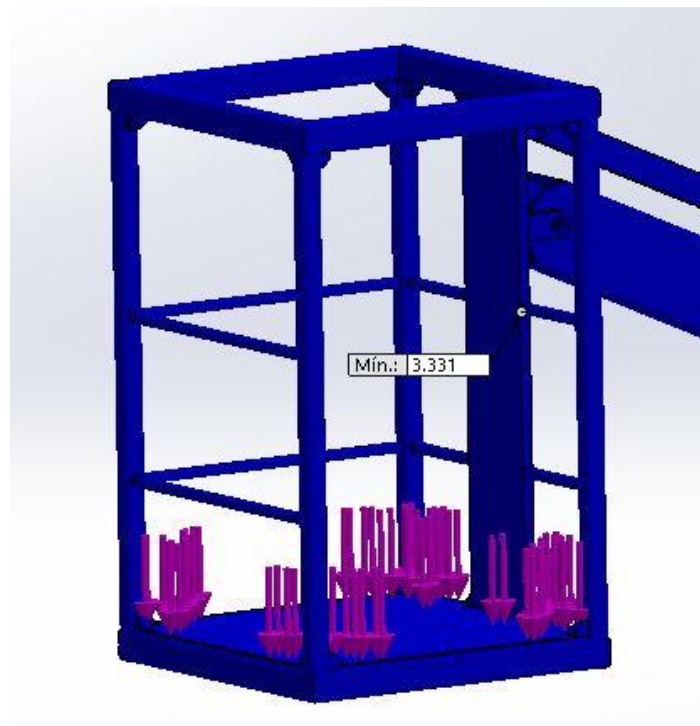


Fig 226. Coeficiente de seguridad mínimo

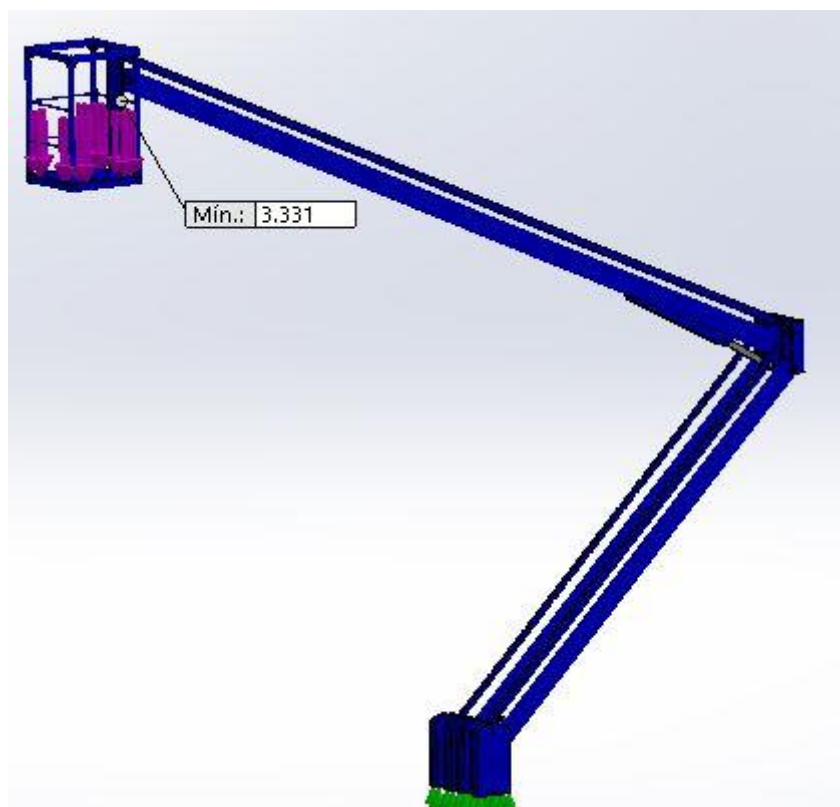


Fig 227. Coeficiente de seguridad mínimo

ANEXO 7

ANEXO 7.1. REACCIONES MÁXIMAS EN LOS PASADORES

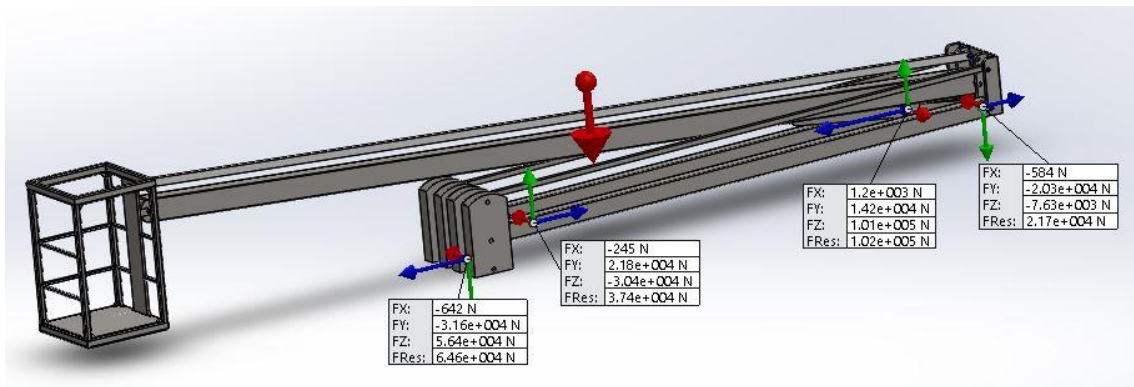


Fig 228. Reacciones en los pasadores

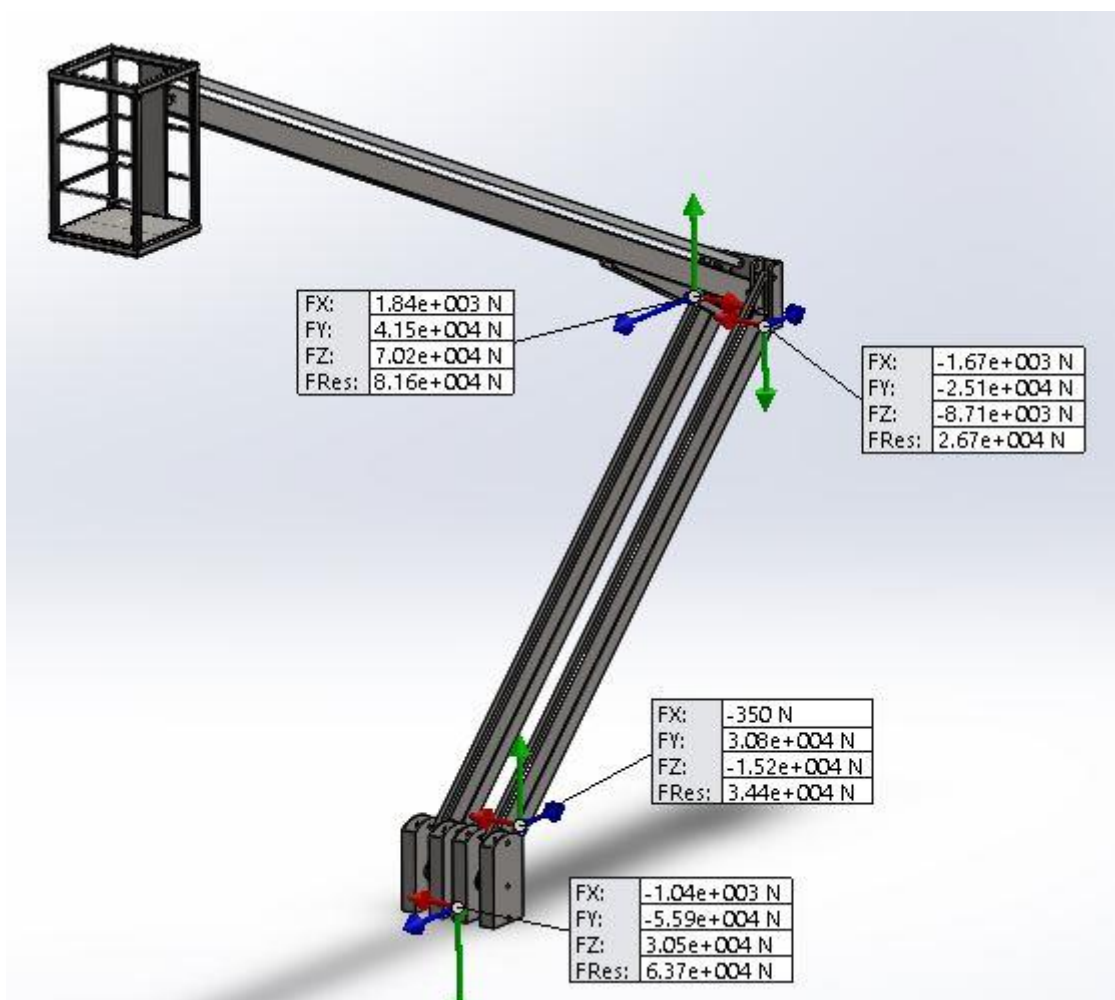


Fig 229. Reacciones en los pasadores



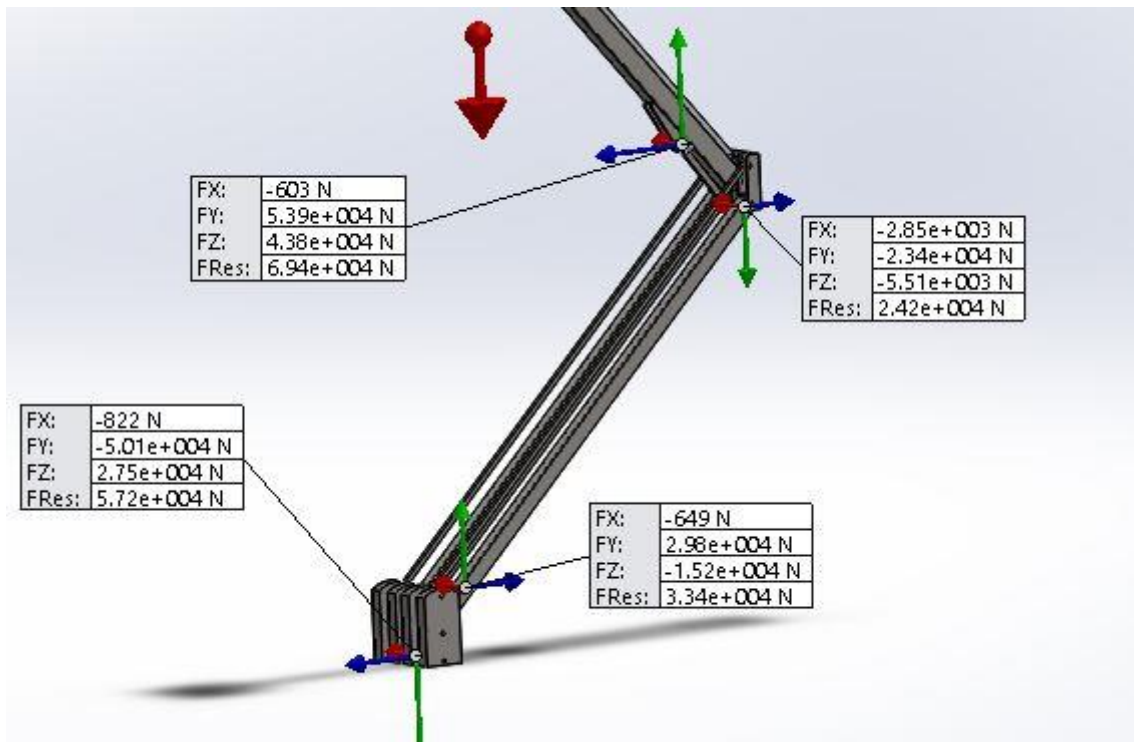


Fig 230. Reacciones en los pasadores

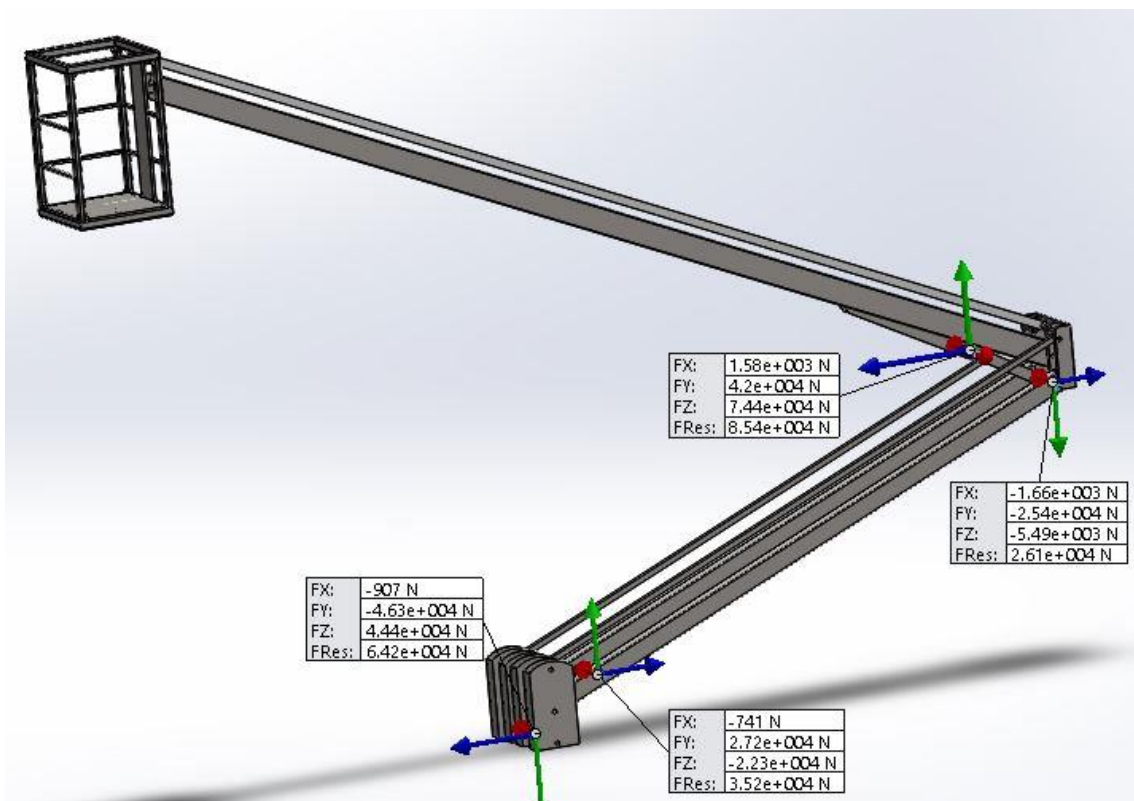


Fig 231. Reacciones en los pasadores

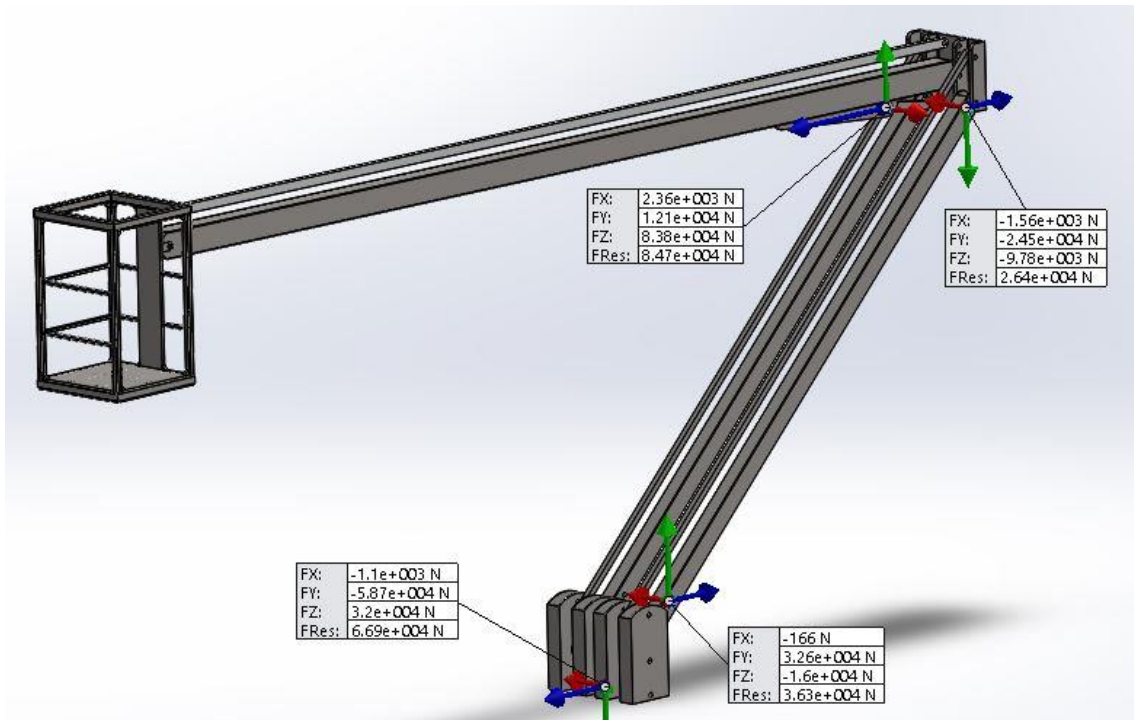


Fig 232. Reacciones en los pasadores

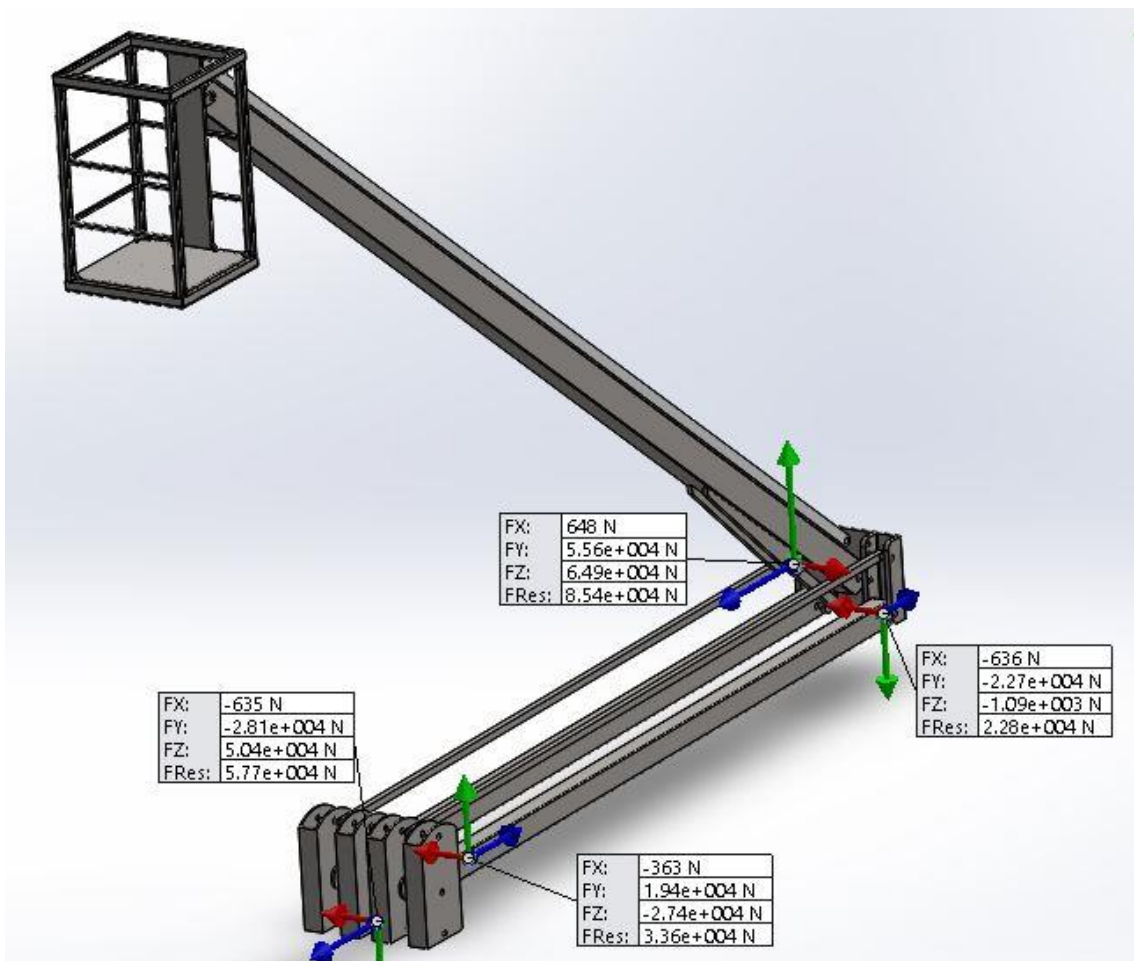


Fig 233. Reacciones en los pasadores