

# ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL



## *Diseño, cálculo y modelado de* *plataforma elevadora de* *personal*

**PROYECTO FINAL DE CARRERA**

**AUTOR**

David Martín-Maza

**DIRECTOR**

Paula Canalís Martínez

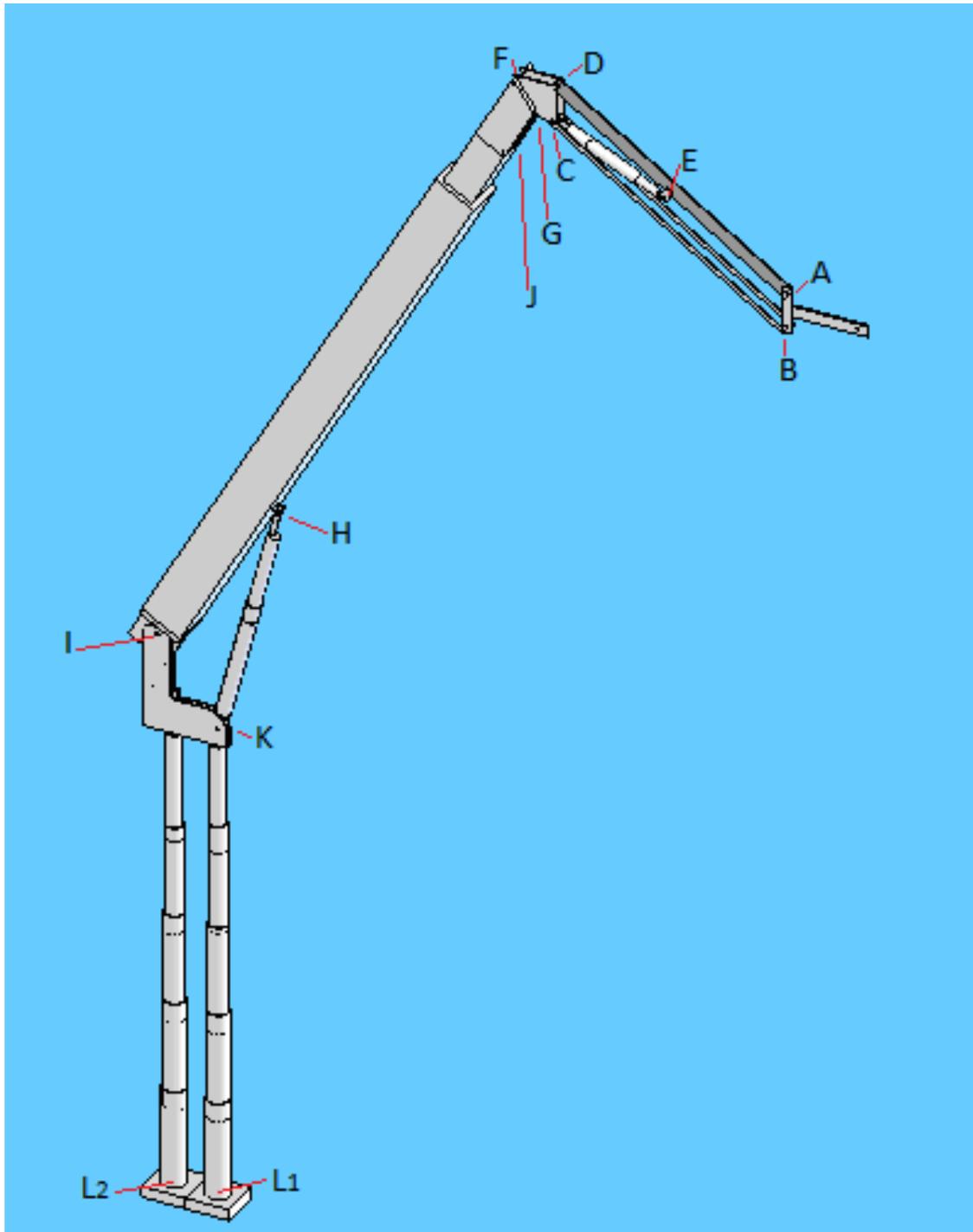
**ESPECIALIDAD**

Mecánica

**CONVOCATORIA**

Marzo 2011





<b>Índice</b>	<b>4</b>
<b>Esquema del proyecto</b>	<b>7</b>
<b>Introducción</b>	<b>8</b>
Peticionario	9
Bibliografía	10
<b>Estado del arte</b>	<b>11</b>
Introducción, descripción y conceptos generales	11
Riesgos y factores de riesgo	15
Diferentes modelos y características detalladas	37
Conclusión, selección y razonamiento	61
<b>Descripción general de la máquina seleccionada</b>	<b>63</b>

<b>Análisis previo</b>	<b>68</b>
<b>Análisis geométrico</b>	<b>68</b>
Conjuntos mecánicos y posiciones respectivas	69
Cesta	71
Brazo superior	72
Articulación superior	78
Brazo central	80
Cabeza del mástil	86
Mástil	88
Razonamiento por el cual es modificada la parte inferior de la máquina	90
<b>Análisis estático y predimensionado</b>	<b>94</b>
Cesta	95
Brazo superior	96
Articulación superior	104
Brazo central	107
Mástil	111
Dimensionado de cilindros hidráulicos	113

**Análisis mecánico - SolidWorks 2010** **118**

Brazo superior	119
Brazo central	123
Mástil	125

**Conclusiones, motivación y agradecimientos** **129**

Conclusiones	129
El proyecto como fin de carrera	130
Agradecimientos	131

**Datos, fecha y firma** **132**

## **Esquema del proyecto:**

Capítulo 0, *Introducción*: Recoge los aspectos fundamentales del proyecto que lo definen, aborda un problema existente y plantea las características que debe poseer la máquina para ser capaz de resolverlo. También indica una visión global del trabajo, que conecte al lector con el esquema mental del autor.

Capítulo 1, *Estado del arte*: Describe todas las posibles soluciones al problema y su adecuación a las características que deben resolverlo, así como una recopilación de los atributos más importantes para poder determinar la máquina más adecuada.

Capítulo 2, *Descripción general de la máquina seleccionada para el análisis*: Define la máquina seleccionada de entre el mercado, especificaciones, limitaciones y razonamiento de la elección

Capítulo 3, *Análisis previo*: Definición y prediseño de la máquina desde los puntos de vista geométrico y estático, mediante el cálculo y estudio analítico de los mismos.

Capítulo 4, *Análisis mecánico*: Ensamblaje, análisis y mejora de las distintas partes de la máquina hasta alcanzar los requisitos exigidos, realizado todo ello mediante el soporte informático SolidWorks 2010

Capítulo 5, *Conclusiones, motivación del proyecto y agradecimientos*

Capítulo 6, *Datos, fecha y firma*

## **0.- Introducción**

**Objeto del proyecto:** Análisis de una plataforma elevadora de personal para trabajos urbanos.

**Objetivo de la máquina:** Servir como herramienta multifuncional en las tareas de mantenimiento de elementos urbanísticos, tales como farolas, marquesinas, tendido eléctrico, limpieza, poda de árboles y demás acciones, habituales o imprevistas, que requieran la elevación de un operario para su realización.

**Requisitos básicos:** La plataforma elevadora debe cumplir varios aspectos, divisibles entre fundamentales y secundarios.

### Fundamentales:

Cumplimiento de las medidas de seguridad y prevención de riesgos exigidas

Capacidad para alcanzar una altura suficiente para realizar trabajos no específicos. Ésta ha sido fijada en 20 metros, ya que dicha medida supera la de la mayoría de elementos urbanísticos como farolas, estatuas, tendido eléctrico y árboles.

Polivalencia

### Secundarios:

Coste

Maniobrabilidad

Capacidad para alcanzar puntos de difícil acceso (árboles asimétricos, estatuas complejas).

Mantenimiento

Adecuación al clima local

Simplicidad de transporte

Respeto al medio ambiente

**Peticionario del proyecto.**

Proyecto Final de Carrera perteneciente a la titulación de Ingeniería Técnica Industrial especialidad Mecánica.

Realizado en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Zaragoza (EUITIZ), perteneciente a la Universidad de Zaragoza.

Por encargo del Departamento de Ingeniería Mecánica, en la persona de Dña. Paula Canalís Martínez.

## **Bibliografía**

*Normativa sobre prevención de riesgos en el uso de plataformas elevadoras móviles de personal, Ministerio de industria*

*Cálculo y construcción de máquinas, José Antonio Serrano*

*Diseño de máquinas, Universidad de Zaragoza*

*Gran libro de SolidWorks, Sergio Gómez*

*Cilindros Hidráulicos CILCOIL*

*[www.haulotte.com](http://www.haulotte.com)*

*[www.hidrogubert.com](http://www.hidrogubert.com)*

*[www.socage.com](http://www.socage.com)*

*SolidWorks 2010*

## **1.- Estado del arte**

### **1.1.- Introducción, descripción y conceptos generales**

La plataforma elevadora móvil de personal (*PEMP*) es una máquina móvil destinada a desplazar personas hasta una posición de trabajo, con una única y definida posición de entrada y salida; está constituida como mínimo por una plataforma de trabajo con órganos de servicio, una estructura extensible y un chasis.

Existen plataformas sobre camión articuladas y telescópicas, autopropulsadas de tijera, autopropulsadas articuladas o telescópicas y plataformas especiales remolcables por otras.

Las PEMP se dividen en dos grupos principales:

Grupo A: Son aquellas en las que la proyección vertical del centro de gravedad (c.d.g.) de la carga está siempre en el interior de las líneas de vuelco.

Grupo B: Son aquellas en las que la proyección vertical del c.d.g. de la carga puede estar en el exterior de las líneas de vuelco.

En función de sus posibilidades de traslación, se dividen en tres tipos:

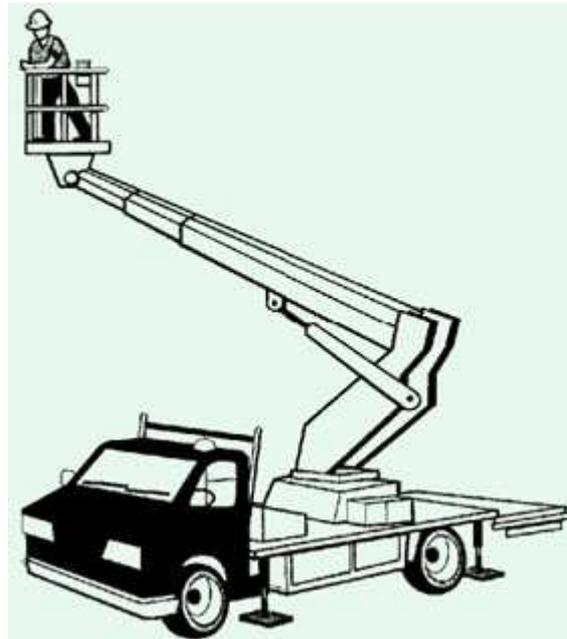
Tipo 1: La traslación solo es posible si la PEMP se encuentra en posición de transporte.

Tipo 2: La traslación con la plataforma de trabajo en posición elevada solo puede ser mandada por un órgano situado en el chasis.

Tipo 3: La traslación con la plataforma de trabajo en posición elevada puede ser mandada por un órgano situado en la plataforma de trabajo.

## **Partes de la plataforma**

Las distintas partes que componen una plataforma elevadora móvil de personal se pueden ver en la siguiente figura y se describen a continuación.



### *Plataforma de trabajo*

Esta formada por una bandeja rodeada por una barandilla, o por una cesta.

### *Estructura extensible*

Estructura unida al chasis sobre la que está instalada la plataforma de trabajo, permitiendo moverla hasta la situación deseada. Puede constar de uno o varios tramos, plumas o brazos, simples, telescópicos o articulados, estructura de tijera o cualquier combinación entre todos ellos, con o sin posibilidad de orientación con relación a la base.

La proyección vertical del c.d.g. de la carga, durante la extensión de la estructura puede estar en el interior del polígono de sustentación, o, según la constitución de la máquina, en el exterior de dicho polígono.

### *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.

### *Elementos complementarios*

Estabilizadores: Son todos los dispositivos o sistemas concebidos para asegurar la estabilidad de las PEMP como pueden ser gatos, bloqueo de suspensión, ejes extensibles, etc.

Sistemas de accionamiento: Son los sistemas que sirven para accionar todos los movimientos de las estructuras extensibles. Pueden ser accionadas por cables, cadenas, tornillo o por piñón y cremallera.

Órganos de servicio: Incluye los paneles de mando normales, de seguridad y de emergencia.

## **Características**

### ***Plataformas sobre camión articuladas o telescópicas***

Este tipo de plataformas se utiliza para trabajos al aire libre situados a gran altura, como pueden ser reparaciones, mantenimiento, tendidos eléctricos, etc. Consta de un brazo articulado capaz de elevarse a alturas de hasta 62 m. y de girar 360°.

La plataforma puede ser utilizada por tres personas como máximo según los casos.

### ***Plataformas autopropulsadas de tijera***

Este tipo de plataformas se utiliza para trabajos de instalaciones eléctricas, mantenimientos, montajes industriales, etc.

La plataforma es de elevación vertical con alcances máximos de 25 m. y con gran capacidad de personas y equipos auxiliares de trabajo.

Pueden estar alimentadas por baterías, motor de explosión y tracción a las cuatro ruedas.

### ***Plataformas autopropulsadas articuladas o telescópicas***

Se utilizan para trabajos en zonas de difícil acceso. Pueden ser de brazo articulado y sección telescópica o sólo telescópicas con un alcance de hasta 40 m.

Pueden estar alimentadas por baterías, con motor diesel y tracción integral o una combinación de ambos sistemas.

## **1.2.- Riesgos y factores de riesgo**

### ***Caídas a distinto nivel***

Pueden ser debidas a:

Basculamiento del conjunto del equipo al estar situado sobre una superficie inclinada o en mal estado, falta de estabilizadores, etc.

Ausencia de barandillas de seguridad en parte o todo el perímetro de la plataforma.

Efectuar trabajos utilizando elementos auxiliares tipo escalera, banquetas, etc. para ganar altura.

Trabajar sobre la plataforma sin los equipos de protección individual debidamente anclados.

Rotura de la plataforma de trabajo por sobrecarga, deterioro o mal uso de la misma.

### ***Vuelco del equipo***

Puede originarse por:

Trabajos con el chasis situado sobre una superficie inclinada.

Hundimiento o reblandecimiento de toda o parte de la superficie de apoyo del chasis.

No utilizar estabilizadores, hacerlo de forma incorrecta, apoyarlos total o parcialmente sobre superficies poco resistentes.

Sobrecarga de las plataformas de trabajo respecto a su resistencia máxima permitida.

### **Caída de materiales sobre personas y/o bienes**

Pueden deberse a:

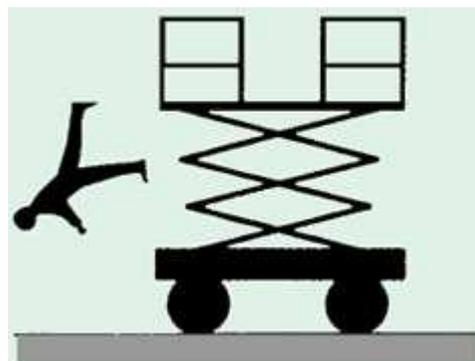
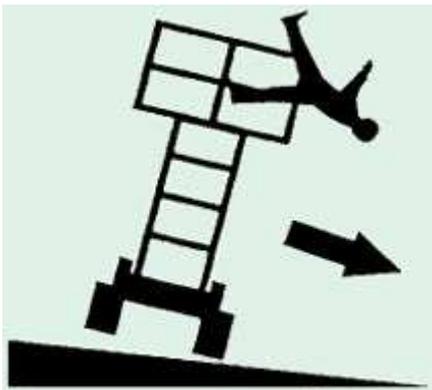
Vuelco del equipo.

Plataforma de trabajo desprotegida.

Rotura de una plataforma de trabajo.

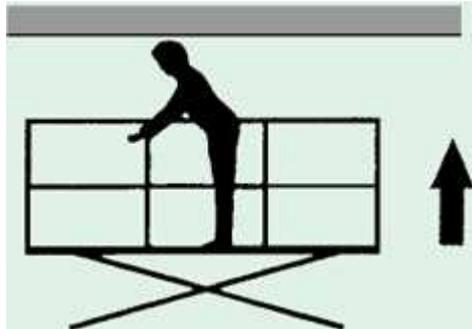
Herramientas sueltas o materiales dejados sobre la superficie.

Personas situadas en las proximidades de la zona de trabajo o bajo la vertical de la plataforma.



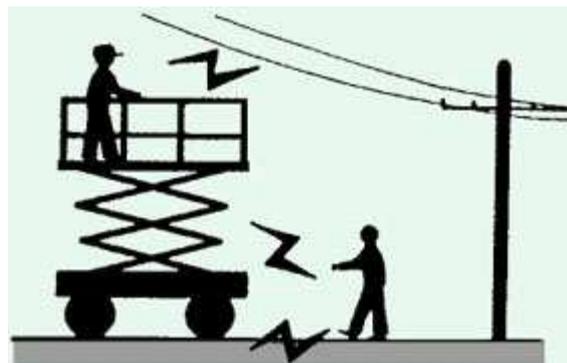
### ***Golpes, choques o atrapamientos del operario o de la propia plataforma contra objetos fijos o móviles***

Normalmente se producen por movimientos de elevación o pequeños desplazamientos del equipo en proximidades de obstáculos fijos o móviles sin las correspondientes precauciones.



### ***Contactos eléctricos directos o indirectos***

La causa más habitual es la proximidad a líneas eléctricas de AT y/o BT ya sean aéreas o en fachada.



### ***Caídas al mismo nivel***

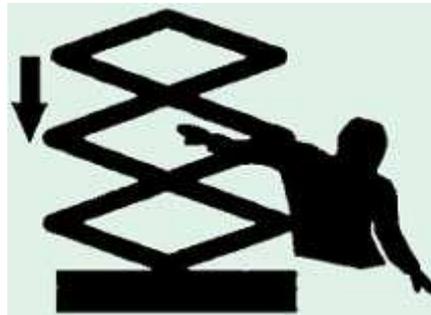
Suelen tener su origen en la falta de orden y limpieza en la superficie de la plataforma de trabajo.

### ***Atrapamiento entre alguna de las partes móviles de la estructura y entre ésta y el chasis***

Se producen por:

Efectuar algún tipo de actuación en la estructura durante la operación de bajada de la misma.

Situarse entre el chasis y la plataforma durante la operación de bajada de la plataforma de trabajo.



## **Medidas de prevención y de protección**

### ***Características constructivas de seguridad***

Fundamentalmente están relacionadas con las características de estructura y estabilidad, la presencia de estabilizadores y las estructuras extensibles.

### ***Cálculos de estructura y estabilidad. Generalidades.***

El fabricante es responsable del cálculo de resistencia de estructuras, determinación de su valor, puntos de aplicación, direcciones y combinaciones de cargas y fuerzas específicas que originan las condiciones más desfavorables. Asimismo es responsable de los cálculos de estabilidad, identificación de las diversas posiciones de las PEMP y de las combinaciones de cargas y fuerzas que, conjuntamente, originan las condiciones de estabilidad mínimas.

### ***Chasis y estabilizadores***

La plataforma de trabajo debe estar provista de los siguientes dispositivos de seguridad:

Dispositivo que impida su traslación cuando no esté en posición de transporte. (PEMP con conductor acompañante y las autopropulsadas del Tipo 1).

Dispositivo (por ejemplo. un nivel de burbuja) que indique si la inclinación o pendiente del chasis está dentro de los límites establecidos por el fabricante. Para las PEMP con estabilizadores accionados mecánicamente este dispositivo deberá ser visible desde cada puesto de mando de los estabilizadores.

Las PEMP del tipo 3 deben disponer de una señal sonora audible que advierta cuando se alcanzan los límites máximos de inclinación.

Las bases de apoyo de los estabilizadores deben estar construidas de forma que puedan adaptarse a suelos que presenten una pendiente o desnivel de al menos 10°.

### ***Estructuras extensibles***

Las PEMP deben estar equipadas con dispositivos de control que reduzcan el riesgo de vuelco o de sobrepasar las tensiones admisibles. Distinguimos entre las PEMP del grupo A y las del grupo B para indicar los métodos aconsejables en cada caso:

#### **Grupo A:**

Sistema de control de carga y registrador de posición

Control de posición con criterios de estabilidad y de sobrecarga reforzada

#### **Grupo B:**

Sistema de control de carga y registrador de posición

Sistemas de control de la carga y del momento

Sistemas de control del momento con criterio de sobrecarga reforzado

Control de posición con criterios de estabilidad y de sobrecarga reforzada

Conviene destacar que los controles de carga y de momento no pueden proteger contra una sobrecarga que sobrepase largamente la capacidad de carga máxima.

### **Sistemas de accionamiento de las estructuras extensibles**

Los sistemas de accionamiento deben estar concebidos y construidos de forma que impidan todo movimiento intempestivo de la estructura extensible.

### **Sistemas de accionamiento por cables**

Los sistemas de accionamiento por cables deben comprender un dispositivo o sistema que en caso de un fallo limiten a 0,2 m. el movimiento vertical de la plataforma de trabajo con la carga máxima de utilización.

Los cables de carga deben ser de acero galvanizado sin empalmes excepto en sus extremos no siendo aconsejables los de acero inoxidable.

Las características técnicas que deben reunir son:

Diámetro mínimo 8 mm.

Nº mínimo de hilos 114.

Clase de resistencia de los hilos comprendida entre 1.570 N/mm<sup>2</sup> y 1.960 N/mm<sup>2</sup>.

La unión entre el cable y su terminal debe ser capaz de resistir al menos el 80 % de la carga mínima de rotura del cable.

### **Sistemas de accionamiento por cadena**

Los sistemas de accionamiento por cadena deben comprender un dispositivo o sistema que en caso de un fallo limiten a 0,2 m. el movimiento vertical de la plataforma de trabajo con la carga máxima de utilización. No deben utilizarse cadenas con eslabones redondos.

La unión entre las cadenas y su terminal debe ser capaz de resistir al menos el 100 % de la carga mínima de rotura de la cadena.

### **Sistemas de accionamiento por tornillo**

La tensión de utilización en los tornillos y en las tuercas debe ser al menos igual a  $1/6$  de la tensión de rotura del material utilizado. El material utilizado para los tornillos debe tener una resistencia al desgaste más elevada que la utilizada para las tuercas que soporten la carga.

Cada tornillo debe tener una tuerca que soporte la carga y una tuerca de seguridad no cargada. La tuerca de seguridad no debe quedar cargada más que en caso de rotura de la tuerca que soporta la carga. La plataforma de trabajo no podrá elevarse desde su posición de acceso si la tuerca de seguridad esta cargada.

Los tornillos deben estar equipados, en cada una de sus extremidades, de dispositivos que impidan a las tuercas de carga y de seguridad que se salga el tornillo (por ejemplo, topes mecánicos).

### **Sistemas de accionamiento por piñón y cremallera**

La tensión de utilización de piñones y cremalleras debe ser al menos igual a  $1/6$  de la tensión de rotura del material utilizado.

Deben estar provistos de un dispositivo de seguridad accionado por un limitador de sobre-velocidad que pare progresivamente la plataforma de trabajo con la carga máxima de utilización y mantenerla parada en caso de fallo del mecanismo de elevación. Si el dispositivo de seguridad está accionado, la alimentación de la energía debe ser detenida automáticamente.

## **Plataforma de trabajo**

### ***Equipamiento***

La plataforma estará equipada con barandillas o cualquier otra estructura en todo su perímetro a una altura mínima de 0,90 m. y dispondrá de una protección que impida el paso o deslizamiento por debajo de las mismas o la caída de objetos sobre personas de acuerdo con el RD 486/1997 sobre lugares de trabajo: Anexo I.A.3.3 y el RD 1215/1997 sobre equipos de trabajo: Anexo 1.1.6. (La norma UNE-EN 280 especifica que la plataforma debe tener un pretil superior a 1,10 m. de altura mínima, un zócalo de 0,15 m. de altura y una barra intermedia a menos de 0,55 m. del zócalo o del pretil superior; en los accesos de la plataforma, la altura del zócalo puede reducirse a 0,1 m. La barandilla debe tener una resistencia a fuerzas específicas de 500 N por persona aplicadas en los puntos y en la dirección más desfavorable, sin producir una deformación permanente).

Tendrá una puerta de acceso o en su defecto elementos móviles que no deben abrirse hacia el exterior. Deben estar concebidos para cerrarse y bloquearse automáticamente o que impidan todo movimiento de la plataforma mientras no estén en posición cerrada y bloqueada. Los distintos elementos de las barandillas de seguridad no deben ser extraíbles salvo por una acción directa intencionada.

El suelo, comprendida toda trampilla, debe ser antideslizante y permitir la salida del agua (enrejado o metal perforado). Las aberturas deben estar dimensionadas para impedir el paso de una esfera de 15 mm. de diámetro.

Las trampillas deben estar fijadas de forma segura con el fin de evitar toda apertura intempestiva. No deben poder abrirse hacia abajo o lateralmente.

El suelo de la plataforma debe poder soportar la carga máxima de utilización  $m$  calculada según la siguiente expresión:

$$m = n \times m_p + m_e$$

donde:

$m_p = 80$  Kg (masa de una persona)

$m_e \geq 40$  Kg (valor mínimo de la masa de las herramientas y materiales)

$n = n^0$  autorizado de personas sobre la plataforma de trabajo

Deberá disponer de puntos de enganche para poder anclar los cinturones de seguridad o arneses para cada persona que ocupe la plataforma.

Las PEMP del tipo 3 deben estar equipadas con un avisador sonoro accionado desde la propia plataforma, mientras que las del tipo 2 deben estar equipadas con medios de comunicación entre el personal situado sobre la plataforma y el conductor del vehículo portador.

Las PEMP autopropulsadas deben disponer de limitador automático de velocidad de traslado.

### **Sistemas de mando**

La plataforma debe tener dos sistemas de mando, un primario y un secundario. El primario debe estar sobre la plataforma y accesible para el operador. Los mandos secundarios deben estar diseñados para sustituir los primarios y deben estar situados para ser accesibles desde el suelo.

Los sistemas de mando deben estar perfectamente marcados de forma indeleble de fácil comprensión según códigos normalizados.

Todos los mandos direccionales deben activarse en la dirección de la función volviendo a la posición de paro o neutra automáticamente cuando se deje de actuar sobre ellos. Los mandos deben estar diseñados de forma que no puedan ser accionados de forma inadvertida o por personal no autorizado (por ejemplo un interruptor bloqueable).

### ***Sistemas de seguridad de inclinación máxima***

La inclinación de la plataforma de trabajo no debe variar más de 5° respecto a la horizontal o al plano del chasis durante los movimientos de la estructura extensible o bajo el efecto de las cargas y fuerzas de servicio. En caso de fallo del sistema de mantenimiento de la horizontalidad, debe existir un dispositivo de seguridad que mantenga el nivel de la plataforma con una tolerancia suplementaria de 5°.

### ***Sistema de bajada auxiliar***

Todas las plataformas de trabajo deben estar equipadas con sistemas auxiliares de descenso, sistema retráctil o de rotación en caso de fallo del sistema primario.

### ***Sistema de paro de emergencia***

La plataforma de trabajo debe estar equipada con un sistema de paro de emergencia fácilmente accesible que desactive todos los sistemas de accionamiento de una forma efectiva, conforme a la norma UNE-EN 418 Seguridad de las máquinas: Equipo de parada de emergencia, aspectos funcionales.

### ***Sistemas de advertencia***

La plataforma de trabajo debe estar equipada con una alarma u otro sistema de advertencia que se active automáticamente cuando la base de la plataforma se inclina más de 5° de la inclinación máxima permitida en cualquier dirección.

### ***Estabilizadores, salientes y ejes extensibles***

Deben estar equipados con dispositivos de seguridad para asegurar de modo positivo que la plataforma no se moverá mientras los estabilizadores no estén situados en posición. Los circuitos de control deben asegurar que los motores de movimiento no se podrán activar mientras los estabilizadores no se hayan desactivado y la plataforma no esté bajada a la altura mínima de transporte.

## **Sistemas de elevación**

### ***Sistemas de seguridad***

Cuando la carga nominal de trabajo de la plataforma esté soportada por un sistema de cables metálicos o cadenas de elevación o ambos, el factor de seguridad del cable o cadena debe ser de 8 como mínimo, basado en la carga unitaria de rotura a la tracción referida a la sección primitiva.

Todos los sistemas de conducción hidráulicos y neumáticos así como los componentes peligrosos deben tener una resistencia a la rotura por presión cuatro veces la presión de trabajo para la que han sido diseñados. Para los componentes no peligrosos esta resistencia será dos veces la presión de trabajo. Se consideran componentes peligrosos aquellos que, en caso de fallo o mal funcionamiento, implicaría un descenso libre de la plataforma.

### ***Sistemas de protección***

Cuando la elevación de la plataforma se realice mediante un sistema electromecánico, éste estará diseñado para impedir el descenso libre en caso de fallo en el generador o del suministro de energía.

Cuando la elevación de la plataforma se realice mediante un sistema hidráulico o neumático, el sistema debe estar equipado para prevenir una caída libre en caso de rotura de alguna conducción hidráulica o neumática.

Los sistemas hidráulicos o neumáticos de los estabilizadores o cualquier otro sistema deben estar diseñados para prevenir su cierre en caso de rotura de alguna conducción hidráulica o neumática.

### **Otras protecciones**

Los motores o partes calientes de las PEMP deben estar protegidos convenientemente. Su apertura sólo se podrá realizar con llaves especiales y por personal autorizado.

Los escapes de los motores de combustión interna deben estar dirigidos lejos de los puestos de mando.

## **Dispositivos de seguridad**

### ***Eléctricos***

Los interruptores de seguridad que actúen como componentes que dan información deben satisfacer la norma EN 60947-5:1997 (Anexo K: prescripciones especiales para los auxiliares de mando con maniobra positiva de apertura).

### ***Hidráulicos y neumáticos***

Deben estar concebidos e instalados de forma que ofrezcan niveles de seguridad equivalentes a los dispositivos de seguridad eléctricos.

Los componentes hidráulicos y neumáticos de estos dispositivos y sistemas que actúen directamente sobre los circuitos de potencia de los sistemas hidráulicos y neumáticos deben estar duplicados si el fallo de un componente puede engendrar una situación peligrosa.

Los distribuidores pilotados de estos componentes deben estar concebidos e instalados de forma que mantengan la seguridad en caso de fallo de energía, es decir parar el movimiento correspondiente.

### ***Mecánicos***

Deben estar concebidos e instalados de forma que ofrezcan niveles de seguridad equivalentes a los dispositivos de seguridad eléctricos. Esta exigencia se satisface por las varillas, palancas, cables, cadenas, etc., si resisten al menos dos veces la carga a la que son sometidos.

## **Otras medidas de protección frente a riesgos específicos**

### ***Riesgo de electrocución***

Este riesgo se manifiesta en tanto en cuanto las plataformas puedan alcanzar líneas eléctricas aéreas, sean de alta o de baja tensión.

Según el Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión (Decreto 3151/ 1968), se entiende como tales las de corriente alterna trifásica a 50 Hz de frecuencia, cuya tensión nominal eficaz entre fases sea igual o superior a 1 KV.

Para prevenir el riesgo de electrocución se deberán aplicar los criterios establecidos en el RD 614/2001 sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico; en concreto según indica el Art. 4.2, todo trabajo en una instalación eléctrica, o en su proximidad, que conlleve riesgo eléctrico se debe efectuar sin tensión.

Cuando no se pueda dejar sin tensión la instalación se deben seguir las medidas preventivas indicadas en el Anexo V.A Trabajos en proximidad. Disposiciones generales y lo indicado en el Anexo V.B Trabajos en proximidad. Disposiciones particulares del citado RD 614/2001. Se recomienda, a fin de facilitar la correcta interpretación y aplicación del citado R.D. consultar la correspondiente Guía Técnica elaborada por el INSHT.

Complementariamente, se recomienda consultar la NTP-72: Trabajos con elementos de altura en presencia de líneas eléctricas aéreas.

### **Normas de seguridad en la utilización del equipo**

Hay cuatro grupos de normas importantes: las normas previas a la puesta en marcha de la plataforma, las normas previas a la elevación de la plataforma, las normas de movimiento del equipo con la plataforma elevada y las normas después del uso de la plataforma.

#### **Normas previas a la puesta en marcha de la plataforma**

Antes de utilizar la plataforma se debe inspeccionar para detectar posibles defectos o fallos que puedan afectar a su seguridad.

La inspección debe consistir en lo siguiente:

Inspección visual de soldaduras deterioradas u otros defectos estructurales, escapes de circuitos hidráulicos, daños en cables diversos, estado de conexiones eléctricas, estado de neumáticos, frenos y baterías, etc.

Comprobar el funcionamiento de los controles de operación para asegurarse que funcionan correctamente.

Cualquier defecto debe ser evaluado por personal cualificado y determinar si constituye un riesgo para la seguridad del equipo. Todos los defectos detectados que puedan afectar a la seguridad deben ser corregidos antes de utilizar el equipo.

### **Normas previas a la elevación de la plataforma**

Comprobar la posible existencia de conducciones eléctricas de A.T. en la vertical del equipo. Hay que mantener una distancia mínima de seguridad, aislarlos o proceder al corte de la corriente mientras duren los trabajos en sus proximidades.

Comprobar el estado y nivelación de la superficie de apoyo del equipo.

Comprobar que el peso total situado sobre la plataforma no supera la carga máxima de utilización.

Si se utilizan estabilizadores, se debe comprobar que se han desplegado de acuerdo con las normas dictadas por el fabricante y que no se puede actuar sobre ellos mientras la plataforma de trabajo no esté en posición de transporte o en los límites de posición.

Comprobar estado de las protecciones de la plataforma y de la puerta de acceso.

Comprobar que los cinturones de seguridad de los ocupantes de la plataforma están anclados adecuadamente.

Delimitar la zona de trabajo para evitar que personas ajenas a los trabajos permanezcan o circulen por las proximidades.

### **Normas de movimiento del equipo con la plataforma elevada**

Comprobar que no hay ningún obstáculo en la dirección de movimiento y que la superficie de apoyo es resistente y sin desniveles.

Mantener la distancia de seguridad con obstáculos, escombros, desniveles, agujeros, rampas, etc., que comprometan la seguridad. Lo mismo se debe hacer con obstáculos situados por encima de la plataforma de trabajo.

La velocidad máxima de traslación con la plataforma ocupada no sobrepasará los siguientes valores:

1,5 m/s para las PEMP sobre vehículo portador cuando el movimiento de traslación se mande desde la cabina del portador.

3,0 m/s para las PEMP sobre raíles.

0,7 m/s para todas las demás PEMP de los tipos 2 y 3.

No se debe elevar o conducir la plataforma con viento o condiciones meteorológicas adversas.

No manejar la PEMP de forma temeraria o distraída.

### **Otras normas**

No sobrecargar la plataforma de trabajo.

No utilizar la plataforma como grúa.

No sujetar la plataforma o el operario de la misma a estructuras fijas.

Está prohibido añadir elementos que pudieran aumentar la carga debida al viento sobre la PEMP, por ejemplo paneles de anuncios, ya que podrían quedar modificadas la carga máxima de utilización, carga estructural, carga debida al viento o fuerza manual, según el caso.

Cuando se esté trabajando sobre la plataforma el o los operarios deberán mantener siempre los dos pies sobre la misma.

Además deberán utilizar los cinturones de seguridad o arnés debidamente anclados.

No se deben utilizar elementos auxiliares situados sobre la plataforma para ganar altura.

Cualquier anomalía detectada por el operario que afecte a su seguridad o la del equipo debe ser comunicada inmediatamente y subsanada antes de continuar los trabajos.

Está prohibido alterar, modificar o desconectar los sistemas de seguridad del equipo.

No subir o bajar de la plataforma si está elevada utilizando los dispositivos de elevación o cualquier otro sistema de acceso.

No utilizar plataformas en el interior de recintos cerrados, salvo que estén bien ventilados.

### ***Normas después del uso de la plataforma***

Al finalizar el trabajo, se debe aparcar la máquina convenientemente.

Cerrar todos los contactos y verificar la inmovilización, falcando las ruedas si es necesario.

Limpiar la plataforma de grasa, aceites, etc., depositados sobre la misma durante el trabajo. Tener precaución con el agua para que no afecten a cables o partes eléctricas del equipo.

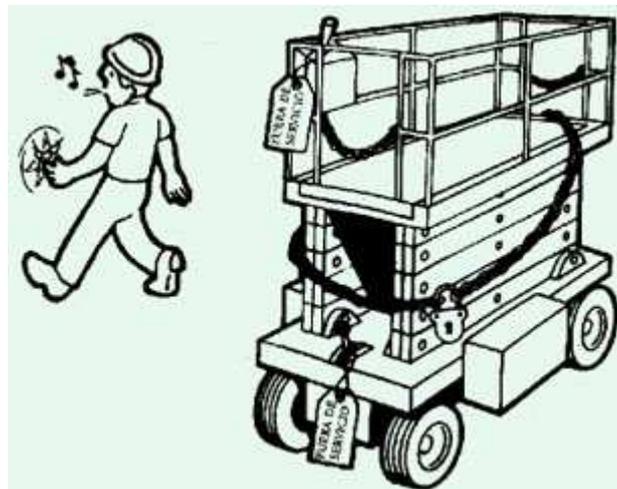
Dejar un indicador de fuera de servicio y retirar las llaves de contacto depositándolas en el lugar habilitado para ello.

### **Otras recomendaciones**

No se deben rellenar los depósitos de combustible (PEMP con motor de combustión) con el motor en marcha.

Las baterías deben cargarse en zonas abiertas, bien ventiladas y lejos de posibles llamas, chispas, fuegos y con prohibición de fumar.

No se deben hacer modificaciones de cualquier tipo en todo el conjunto de las PEMP.



## **Manual de instrucciones. Verificación y señalización.**

### ***Manual de instrucciones***

Toda PEMP debe llevar un manual de instrucciones de funcionamiento que incluya de forma separada las instrucciones para las operaciones de mantenimiento que únicamente las podrán realizar personal de mantenimiento especializado.

El manual deberá contener la siguiente información principal:

Descripción, especificaciones y características de la plataforma de trabajo así como las instrucciones de uso.

Presión hidráulica máxima de trabajo y voltaje máximo de los sistemas eléctricos de la plataforma.

Instrucciones relativas al funcionamiento, normas de seguridad, mantenimiento y reparación.

### ***Verificación y señalización***

Las PEMP deben ir provistas de la siguiente documentación y elementos de señalización:

Placas de identificación y de características.

Diagramas de cargas y alcances.

Señalización de peligros y advertencias de seguridad.

## **Mantenimiento**

Las PEMP deben ser mantenidas de acuerdo con las instrucciones de cada fabricante y que deben estar contenidas en un manual que se entrega con cada plataforma. Tanto las revisiones como los plazos para ser realizadas deben ser hechas por personal especializado.

La norma UNE-58921 IN incluye una Hoja de Revisiones Periódicas de las PEMP que puede servir de guía a la hora de realizar estas revisiones

## **Operador de las PEMP**

Solo las personas preparadas y autorizadas, mayores de 18 años, estarán autorizadas para operar las plataformas elevadoras móviles de personal.

Para ello y antes de estar autorizado para utilizar la plataforma, el operador debe:

- Ser formado por una persona cualificada sobre los símbolos y funciones de cada uno de los instrumentos de control.

- Leer y comprender las instrucciones y normas de seguridad recogidas en los manuales de funcionamiento entregados por el fabricante.

- Leer y comprender los símbolos situados sobre la plataforma de trabajo con la ayuda de personal cualificado.

## **Normativa legal**

### ***Diseño y fabricación***

RD 1435/1992, de 27 de noviembre. Relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas.

RD 56/1995, de 20 de enero, por el que se modifica el RD 1435/1992, ampliando el campo de aplicación a las máquinas con función de elevación o desplazamiento de personas.

### ***Disposiciones generales***

RD 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

RD 773/1997, de 30 de mayo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

El RD 1215/1997, de 18 de julio, (B.O.E. de 7 de agosto de 1997), por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los trabajadores de los equipos de trabajo, traspuso al derecho español las Directivas 89/655/CEE y 95/63/ CEE relativas, respectivamente, a utilización de Equipos de Trabajo y su primera modificación.

### **1.3.- Diferentes modelos y características detalladas**

En este apartado se muestra un estudio de mercado en cuanto a plataformas elevadoras de personal. El objetivo es mostrar la gran cantidad de opciones existentes, sus diferentes características técnicas, estructuras y movimientos.

En la parte final de este capítulo, y en base a dicho estudio, se exponen los motivos por los que se selecciona un tipo de máquina y no el resto.

Diferentes tipos de plataformas elevadoras de personal:

Articuladas

Diesel

Eléctrica

Montada en camión

Sobre oruga

Telescópica

Elevador unipersonal

Plataforma remolcable

Vertical (mástil)

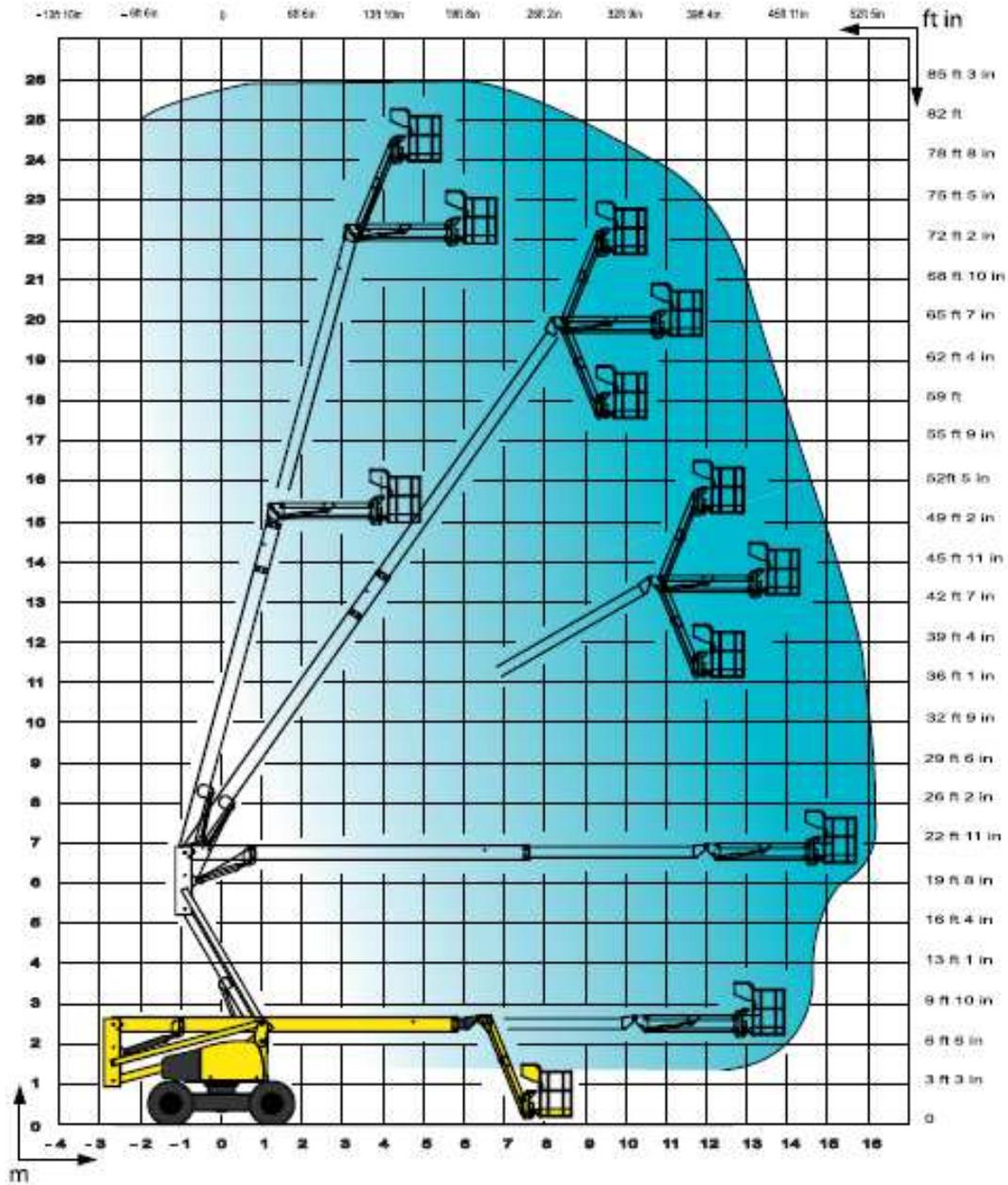
Tijera

Eléctrica

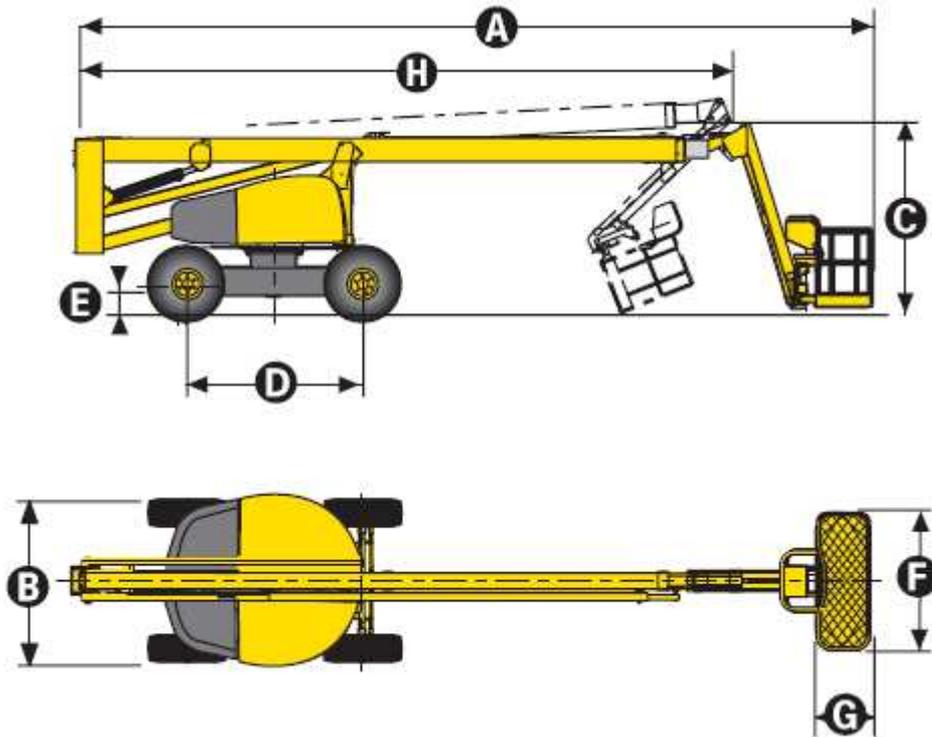
Diesel

A continuación se mostrará un ejemplo de cada modelo con sus características y croquis, aproximándose todas ellas lo más posible a la altura exigida de 20 m.

**Plataforma elevadora de personal articulada diesel HA260PX**



Rango de trabajo y diferentes posiciones de la plataforma articulada diesel HA 260 PX



Posición de almacenaje y cotas generales de la plataforma articulada diesel HA 260 PX

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
Altura de trabajo	25,60 m
Altura plataforma	23,60 m
Alcance máximo	16,20 m
Punto de articulación	6,80 m
Capacidad máxima	230 kg
Abatimiento pendular	140° (+70° / -70°)
<b>A</b> Largo	12 m
<b>B</b> Ancho	2,38 m
<b>C</b> Altura replegada	2,67 m
<b>D</b> Distancia entre ejes	2,80 m
<b>E</b> Altura sobre suelo	42 cm
<b>F</b> x <b>G</b> Dimensiones plataforma	1,8 m x 0,8 m
<b>H</b> Largo de transporte	9,50 m
Altura de transporte	3,20 m
Alcance trasero	1,07 m
Velocidad de traslación	0,45 km/h à 4,5 km/h
Radio de giro exterior	3,90 m
Rotación hidráulica torreta (continuo)	360°
Rotación hidráulica cesta	180°
Motor	Deutz Diesel F 4 L 2011 - 57 CV - 42 kW
Pendiente máxima	40 %
Neumáticos inyectados	15 R22
Deposito hidráulico	150 l
Deposito gasoil	150 l
Peso total	15 950 kg

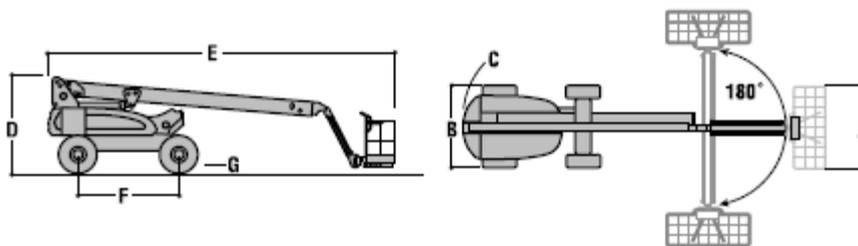
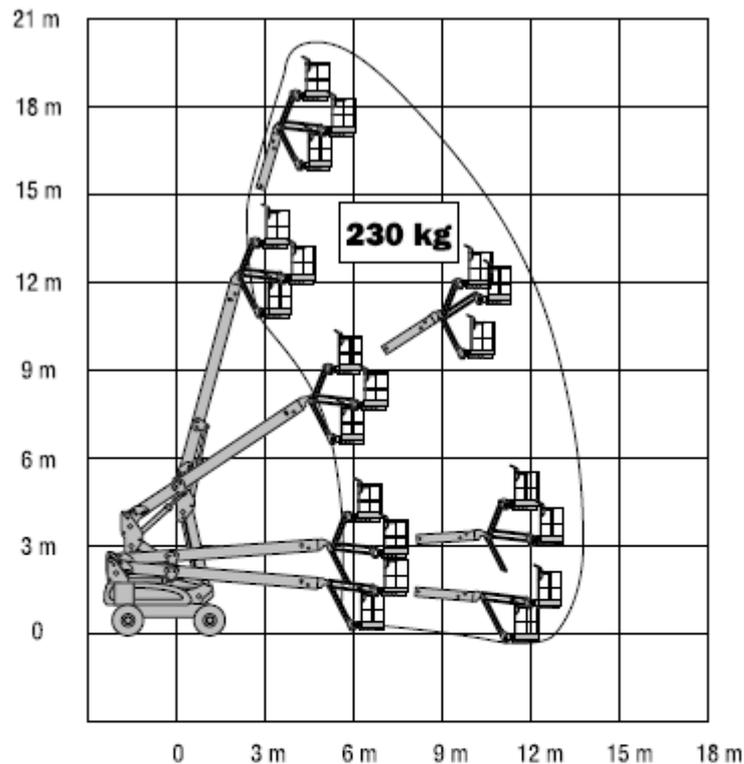
Características generales de la plataforma articulada diesel HA 260 PX

Esta plataforma destaca por la polivalencia de su estructura y su capacidad de desplazarse de forma autónoma.

Por ello, se presenta como una opción muy adecuada, ya que cumpliría el objetivo de la flexibilidad por encima de la especialización.

Sin embargo, este modelo en concreto posee un alcance excesivo, lo que aumentaría su coste innecesariamente.

### Plataforma elevadora de personal articulada eléctrica M600



Rango de trabajo, posición de almacenaje y cotas generales de la plataforma articulada eléctrica M600

En cuanto a estructura, este modelo cumple perfectamente: capacidad para la realización del trabajo y rango no excesivo, que se traduce en mayor economía.

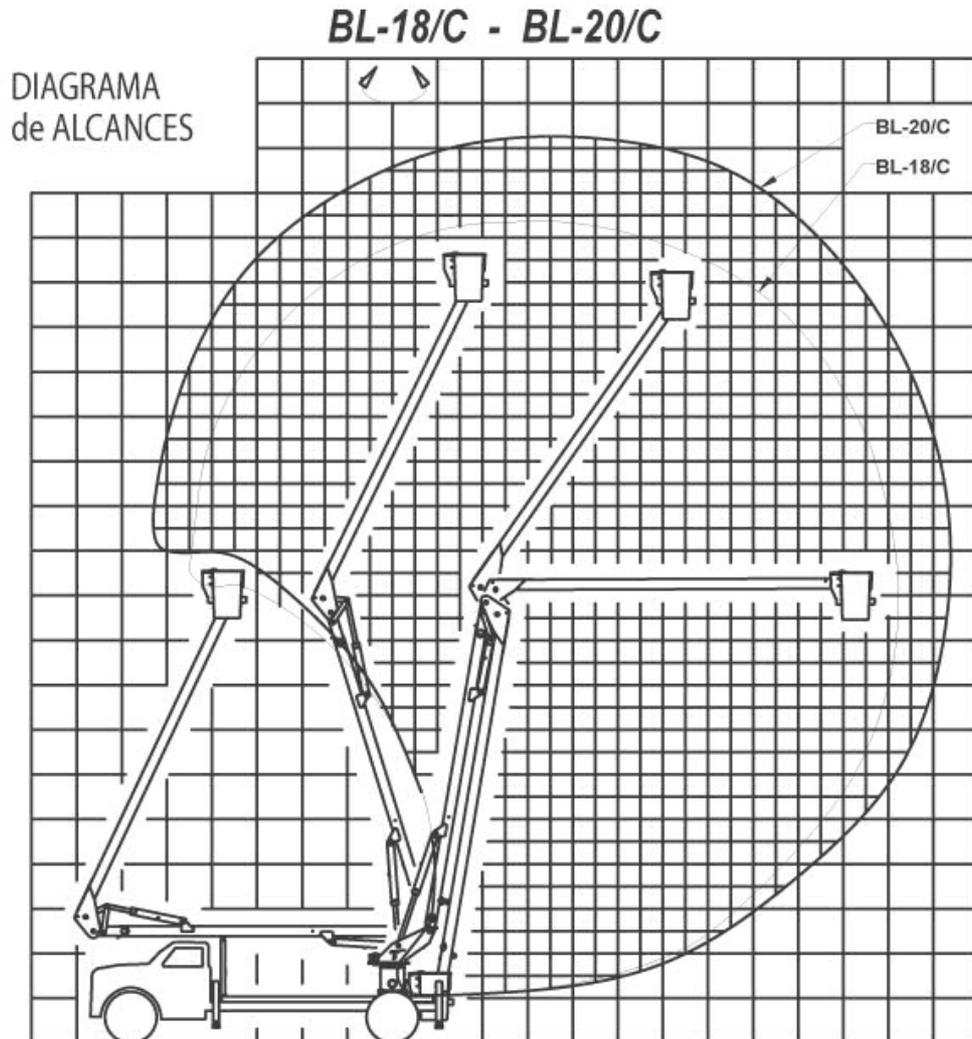
Sin embargo, el hecho de contar con impulso motriz eléctrico la limita frente a la plataforma diesel en cuanto a su autonomía y flexibilidad.

### BRAZOS ARTICULADOS ELECTRICOS

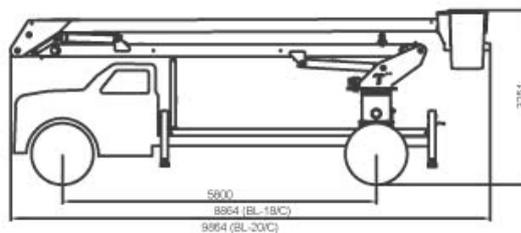
	E600J	M600J	E600JP	M600JP
Altura de plataforma	18.29 m	18.29 m	18.29 m	18.29 m
Alcance horizontal	13.06 m	13.06 m	13.23 m	13.23 m
Giro (no continuo)	400°	400°	400°	400°
Capacidad de plataforma (sin restricción)	230 kg	230 kg	230 kg	230 kg
Giro de plataforma (hidráulico)	180°	180°	180°	180°
Plumín – Longitud total	1.24 m	1.24 m	1.24 m	1.24 m
Plumín – Grado de articulación	141° Vertical (+86°/ -55°)	141° Vertical (+86°/ -55°)	141° Vertical (+86°/ -55°)	141° Vertical (+86°/ -55°)
JibPLUS™ – Grado de articulación	—	—	180° Horizontal	180° Horizontal
A. Tamaño de plataforma	0.76 m x 1.83 m	0.76 m x 1.83 m	0.76 m x 1.83 m	0.76 m x 1.83 m
B. Anchura total	2.44 m	2.44 m	2.44 m	2.44 m
C. Giro de cola (posición de trabajo)	1.22 m	1.22 m	1.22 m	1.22 m
D. Altura de almacenaje	2.57 m	2.57 m	2.57 m	2.57 m
E. Longitud de almacenaje	9.37 m	9.37 m	9.91 m	9.91 m
F. Distancia entre ejes	2.74 m	2.74 m	2.74 m	2.74 m
G. Distancia al suelo	0.30 m	0.30 m	0.30 m	0.30 m
G. Distancia al suelo	0.30 m	0.30 m	0.30 m	0.30 m
Peso total de la máquina <sup>1</sup>	6,900 kg	7,070 kg	7,000 kg	7,170 kg
Velocidad de traslación	4.8 km/h	4.8 km/h	4.8 km/h	4.8 km/h
Pendiente superable	30%	30%	30%	30%
Ruedas (Neumáticas)	36/14LL-22.5	36/14LL-22.5	36/14LL-22.5	36/14LL-22.5
Oscilación del eje (Opcional)	0.20 m	0.20 m	0.20 m	0.20 m
Radio de giro (interno)	1.22 m	1.22 m	1.22 m	1.22 m
Radio de giro (externo)	4.72 m	4.72 m	4.72 m	4.72 m
Sistema Eléctrico	48V DC	48V DC	48V DC	48V DC
Baterías	8 x 6V 415 A/hr	8 x 6V 415 A/hr	8 x 6V 415 A/hr	8 x 6V 415 A/hr
Motores de tracción	Eléctricos	Eléctricos	Eléctricos	Eléctricos
Frenos	Automáticos por muelles precargados	Automáticos por muelles precargados	Automáticos por muelles precargados	Automáticos por muelles precargados
Motobomba hidráulica	Motor eléctrico	Motor eléctrico	Motor eléctrico	Motor eléctrico
Bomba hidráulica	Bomba de engranajes	Bomba de engranajes	Bomba de engranajes	Bomba de engranajes
Tanque de hidráulico	55 L	55 L	55 L	55 L
Generador Automático	—	Yanmar refrig. por aire 4.5 kW	—	Yanmar refrig. por aire 4.5 kW
Depósito del Generador	—	50 L	—	50 L

### Características de la plataforma articulada eléctrica M600

**Plataforma elevadora de personal articulada sobre camión  
HIDROGUBERT BL-20C**



**Datos técnicos**



BL-18/C BL-20/C

Carga admisible en barquillas:	240 240 Kg.
(120 Kg cada una)	
Altura de trabajo (considerando vehículo alto 915 mm)	: 18,30 20,20 mts.
Altura desde el suelo a base de barquilla	: 16,70 18,60 mts.
Alcance horizontal (medido al borde exterior barquilla)	: 10,60 11,70 mts.
Giro continuo	: 360° 360°

Nota: Los datos consignados están sujetos a variación, sin la obligación de aviso previo.

Rango de trabajo y diferentes posiciones de la plataforma articulada sobre camión Hidrogubert BL-20C

### Especificaciones

• Altura a fondo de cesta (*)	18.60 m	61.00 ft
• Altura de trabajo (*)	20.10 m	66.00 ft
• Alcance horizontal	11.70 m	38.50 ft
• Articulación de brazo inferior	150°	
• Articulación de brazo superior	Hasta 110°	
• Estabilizadores	4	
• Carga admisible en cada cesta	120 kg	265 lbs
	<b>Total:</b>	<b>240 kg</b>
		<b>530 lbs</b>
• Giro	Infinito	
• Peso del equipo	5800 kg	12700 lbs

(\*) Basado en un vehículo de 914 mm (36 in) de altura.

### Controles

Control hidráulico desde la base y en la cesta, equipado con sistema de "Hombre Muerto".  
Acoples rápidos en la cesta.  
Toma corriente 12 V DC en la cesta.

### Cestas

Construidas en plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV).

Dimensiones de cada cesta

610 x 610 x 1060      24" x 24" x 42"  
(De acuerdo a ANSI A-92.2 - 1990)

### Sistema hidráulico

• Presión de trabajo	220 bar	3190 psi
• Caudal de trabajo	17 lpm	4.5 gpm

### Seguridad

Válvulas de seguridad incorporadas a los cilindros hidráulicos inmovilizan el sistema en caso de roturas de mangueras o ante cualquier falla del circuito hidráulico.

Cilindros de elevación / plegado: Válvulas de bloqueo y "holding" o contrabalanceo.

Cilindros estabilizadores: Válvulas de bloqueo o "check valves".

Mangueras hidráulicas y sistema de nivelación de la barquilla colocada en el interior de las plumas para su protección.

### **Sistema mecánico**

**Sistema de nivelación:** El mismo es automático y se realiza por medio de cadenas de acero, las cuales configuran un sistema tipo paralelogramo. Las cestas están articuladas en la parte superior, por lo que las mismas podrían nivelarse por gravedad ante la eventualidad de una falla en el sistema.

**Rotación:** La misma se logra mediante un piñón que engrana en una corona. Este piñón es accionado por una caja reductora la que tiene acoplado un motor hidráulico.

### **Opcionales**

Grupo motor - bomba eléctrica 12 V DC de emergencia.  
Cesta doble.

Bomba para elevador y herramientas hidráulicas de mayor caudal.

### **Vehículo mínimo recomendado**

- |                                |          |           |
|--------------------------------|----------|-----------|
| • G.V.W.:                      | 14000 kg | 30900 lbs |
| • Distancia mínima entre ejes: | 5.80 m   | 229 in    |

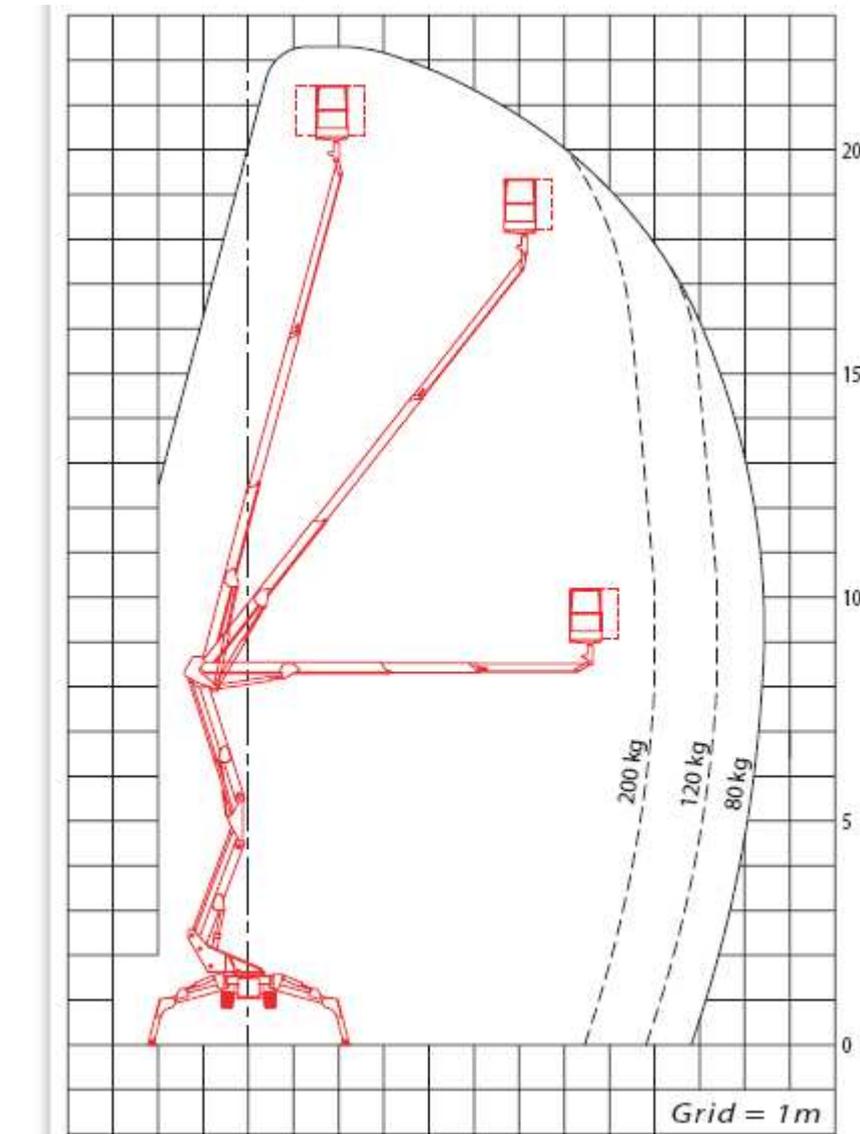
## Características generales de la plataforma sobre camión Hidrogubert BL-20C

Esta plataforma reúne la máxima flexibilidad: Su autonomía es total, ya que es capaz de desplazarse tanto en cortas como en grandes distancias.

Sin embargo, el hecho de ir sobre un camión conlleva un gasto excesivo.

Ésta solución está pensada para situaciones que requieran una carga posterior al trabajo y el desplazamiento a diferentes localidades: Por ejemplo, la compra de esta plataforma por parte del pueblo más importante de una zona y su cesión a las diferentes localidades vecinas.

**Plataforma elevadora de personal articulada sobre oruga**  
**SOCAGE NAVAHO DA22**



Rango de trabajo y diferentes posiciones de la plataforma articulada sobre oruga no-autopropulsada Socage Navaho DA22

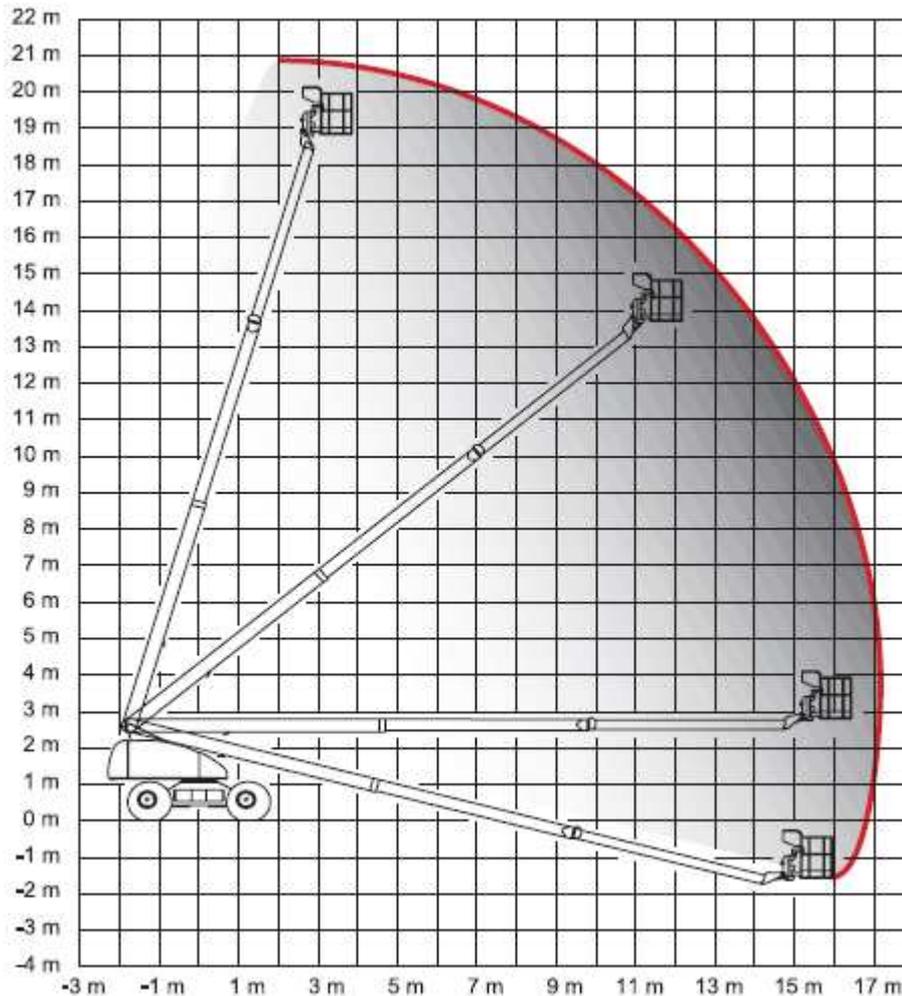
<b>ALTEZZA MASSIMA DI LAVORO</b> <i>Maximum working height</i>	m	22,30
<b>ALTEZZA PIANO DI CALPESTIO</b> <i>Maximum walking floor height</i>	m	20,30
<b>SBRACCIO MASSIMO DI LAVORO</b> <i>Maximum working outreach</i>	m	11,50
<b>ROTAZIONE TORRETTA</b> <i>Turntable rotation</i>		700°
<b>PORTATA MASSIMA CESTELLO</b> <i>Maximum basket load</i>	kg	200
<b>DIMENSIONI CESTELLO</b> <i>Basket dimensions</i>	mm	1400 x 700 x 1100
<b>COMANDI</b> <i>Controls</i>		Elettroidraulici <i>Electro-hydraulic</i>
<b>LUNG. IN ORDINE DI MARCIA</b> <i>Travelling length</i>	mm	~ 5580
<b>ALTEZZA IN ORDINE DI MARCIA</b> <i>Travelling height</i>	mm	~ 2260
<b>LARGHEZZA IN ORDINE DI MARCIA</b> <i>Travelling width</i>	mm	~ 1200
<b>PESO ATTREZZATURA</b> <i>Weight of equipment</i>	kg	~ 2850

Características generales de la plataforma articulada sobre oruga no-autopropulsada Socage Navaho DA22

La amplitud de movimientos de esta solución es perfecta, aunque presenta el problema de no ser suficientemente flexible debido a su falta de movilidad.

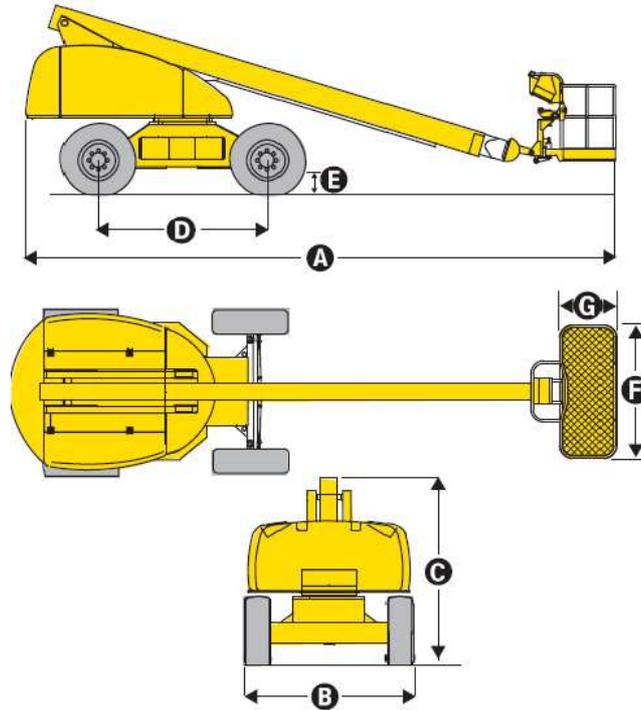
Un ejemplo de ello sería la realización de mantenimiento de las farolas de una avenida, pues necesitaría un vehículo que la desplazara continuamente.

## Plataforma elevadora de personal telescópica HAULOTTE H21TX



Rango de trabajo de la plataforma elevadora telescópica Haulotte H21TX

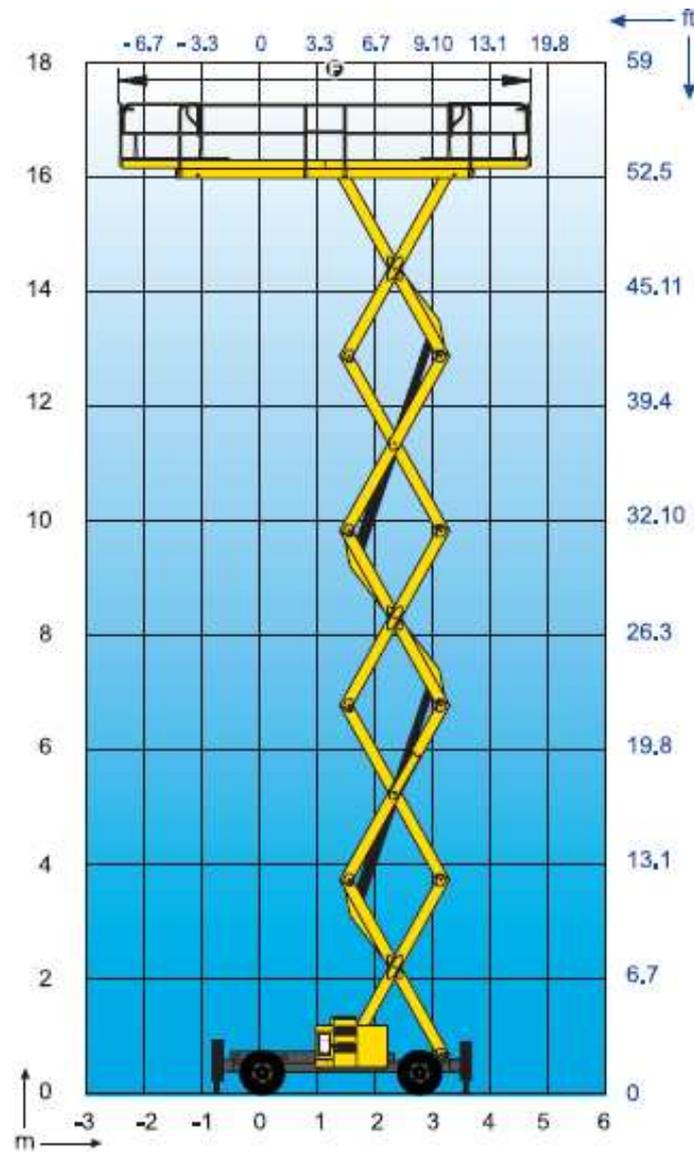
La estructura de esta plataforma no posee una gran flexibilidad. Sería adecuada para trabajos en altura sencillos (edificios), pero no para situaciones de difícil acceso (limpieza de los arcos de un puente).



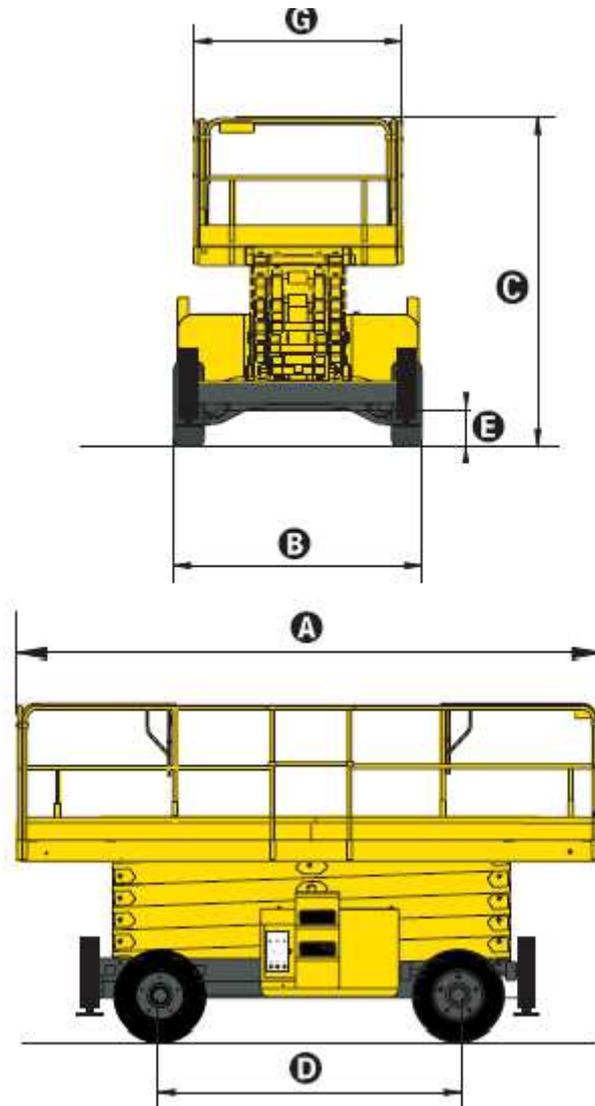
CARACTERÍSTICAS	
Altura de trabajo	20,8 m
Altura plataforma	18,8 m
Alcance máximo	17,2 m
Capacidad máxima	230 kg
<b>A</b> Largo	9,1 m
<b>B</b> Ancho	2,48 m
<b>C</b> Altura replegada	2,86 m
<b>D</b> Distancia entre ejes	2,49 m
<b>E</b> Altura sobre el suelo	35 cm
<b>F</b> x <b>G</b> Dimensiones plataforma	1,8 m x 0,8 m
Alcance trasero	1,10 m
Velocidad de traslación	1,5 - 5,0 km/h
Radio de giro exterior	6,15 m
Rotación hidráulica torreta continua	continúe 360°
Rotación cesta hidráulica	180°
Motor	Diesel 43,6 cv - 32,1 kW
Mandos	proporcionales
Pendiente máxima	40%
Neumáticos espumados	15 R 22
Depósito hidráulico	150 l
Depósito gasoil	150 l
Peso total	11 750 kg

Posición de almacenaje, cotas generales y características de la plataforma elevadora telescópica Haulotte H21TX

**Plataforma elevadora de personal de tijera diesel HAULOTTE H18SX1**



Rango de trabajo de la plataforma de tijera diesel Haulotte H18SX1



Posición de almacenaje y cotas generales de la plataforma de tijera diesel Haulotte H18SXI

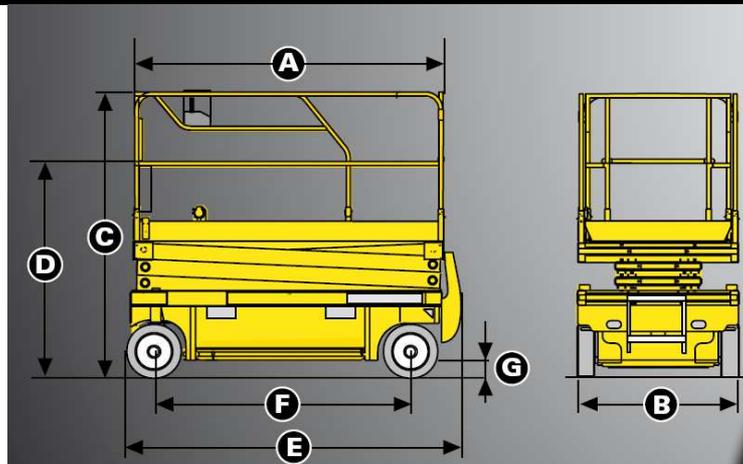
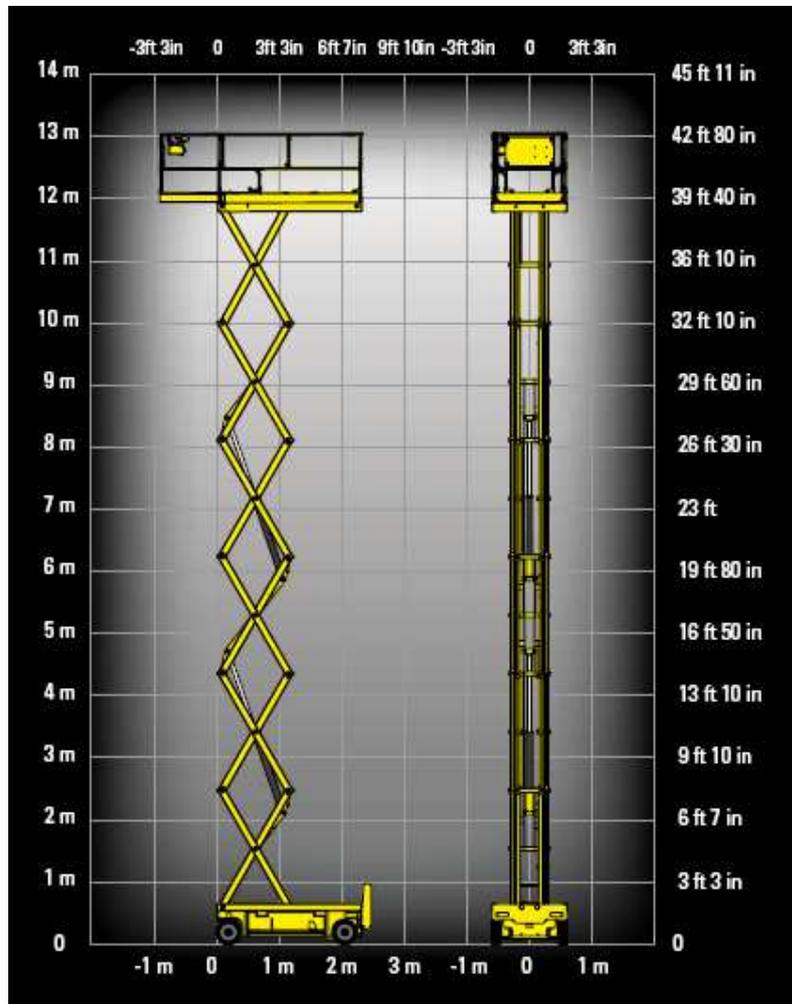
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
	<b>H12 SXL</b>	<b>H15 SXL</b>	<b>H18 SXL</b>
Altura de trabajo	12 m	15 m	18 m
Altura plataforma	10 m	13 m	16 m
Capacidad máxima	700 kg	500 kg	500 kg
Ⓐ Largo	5,30 m		
Ⓑ Ancho	2,25 m		
Ⓒ Altura replegada	2,57 m	2,77 m	2,97 m
Altura replegada (transporte)	1,71 m	1,91 m	2,11 m
Ⓓ Distancia entre ejes	2,75 m		
Ⓔ Altura sobre el suelo	27 cm		
ⒻxⒼ Dimensiones plataforma	7,30 x 1,90 m		
Extensión plataforma	1 m		
Velocidad de traslación	1,6 / 3,2 / 6 km/h		
Radio de giro exterior	6,20 m		
Tiempos subida/bajada	43 / 65 sec.	46 / 57 sec.	60 / 60 sec.
Motor	32 CV - 24 kW		
Pendiente máxima	40%		
Neumáticos Inyectados	10 x 16,5"		
Depósito hidráulico	100 l		
Depósito gasoil	65 l		
Peso total	5 700 kg	6 530 kg	7 490 kg

Características generales de la plataforma de tijera diesel Haulotte H18SXI

Las plataformas de tijera están diseñadas principalmente para trabajos repetitivos y de simple acceso, como limpieza de fachadas o cristalerías.

Sin embargo, su polivalencia es muy baja, por lo que no es recomendable para el objetivo que se busca en esta situación.

**Plataforma elevadora de personal de tijera eléctrica**  
**HAULOTTE COMPACT14**

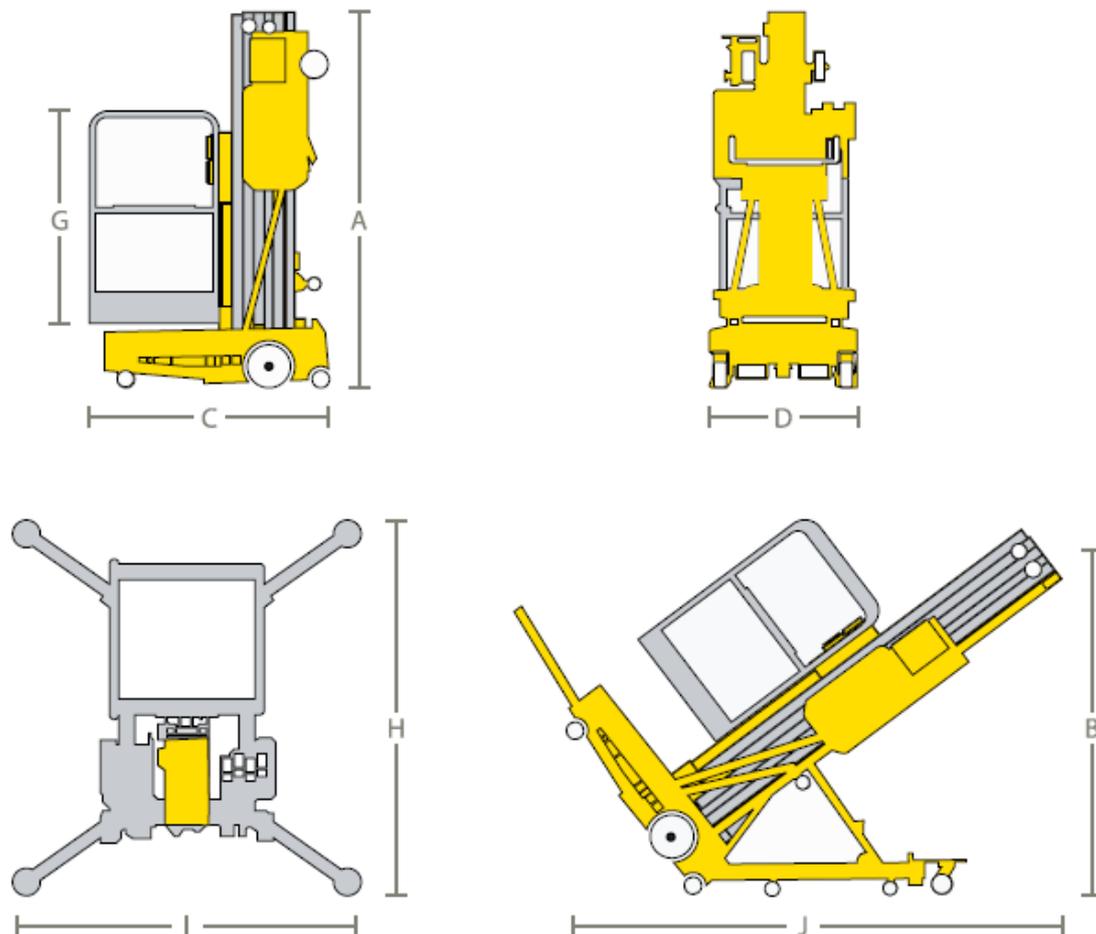


<b>DATOS TÉCNICOS</b>		<b>COMPACT 14</b>
Altura de trabajo		14 m
Altura plataforma		12 m
Capacidad máxima		350 kg
A - Largo plataforma		2.3 m
Largo plataforma extendida		3.22 m
Largo (extensión)		0.92 m
B - Ancho plataforma		1.2 m
C - Altura máquina		2.5 m
D - Altura con barandillas plegadas		2.08 m
E - Largo máquina replegada		2.45 m
B - Ancho transporte		1.2 m
F - Distancia entre ejes		1.86 m
G - Altura al suelo		13 cm
Altura sobre el suelo- Potholes bajados		2.5 cm
Velocidad de traslación		0.9 - 3 km/h
Altura máxima de traslación		12 m
Pendiente máxima		23 %
Inclinación		2° / 3°
Tiempo de subida/ bajada		68 s / 54 s
Radio de giro exterior		2.5 m
Neumáticos no marcantes		15x5
Baterías		24 V - 255 Amph (C5)
Depósito hidráulico		27 l
Peso total		3170 kg

Rango de trabajo, posición de almacenaje, cotas generales y características de la plataforma elevadora telescópica Haulotte Compact14

Se produce una situación similar a la anterior, uniendo la desventaja de la propulsión eléctrica en cuanto a polivalencia/autonomía frente a las plataformas diesel.

**Plataforma elevadora de personal elevador unipersonal  
HAULOTTE QUICK UP 14**



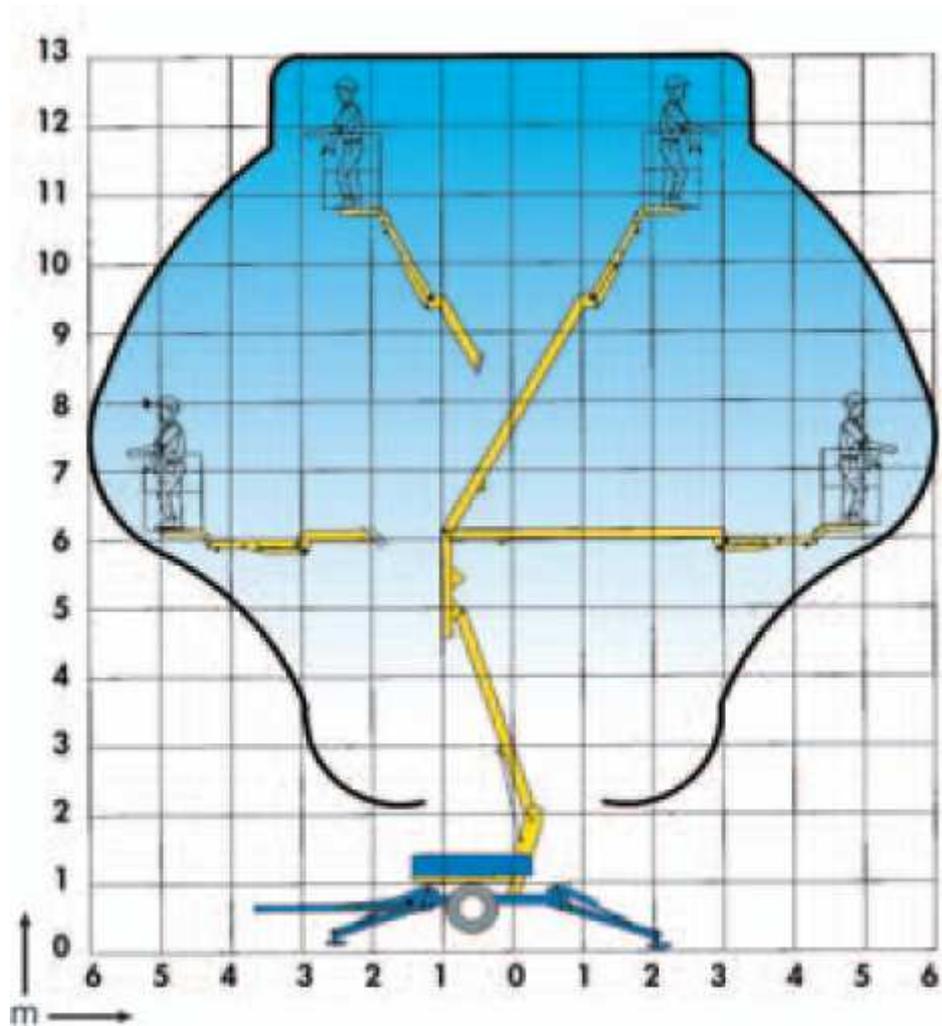
Esquema indicativo de la plataforma elevadora telescópica Haulotte Quick Up 14

CARACTERÍSTICAS									
	QUICK UP 7	QUICK UP 8	QUICK UP 9	QUICK UP 11	QUICK UP 12	QUICK UP 13	QUICK UP 14		
Altura de trabajo (m)	6,50	7,90	9,30	10,70	12	12,80	13,90		
Altura sobre el suelo (m)	4,50	5,90	7,30	8,70	10	10,80	11,90		
Capacidad plataforma (kg)	159				136				
Dimensiones plataforma (m)	0,66 X 0,68								
Ⓒ Longitud replegada (m)	1,21	1,27	1,34	1,40	1,46	1,34	1,40		
Ⓓ Ancho replegada (m)	0,74					0,80			
Ⓐ Altura replegada (m)	1,97					2,77			
Ⓔ Altura barandilla (m)	1,10								
Ⓘ x ⓓ Dimensiones estabilizadores (m)	1,40 x 1,70			1,60 x 1,90	1,81 X 2,10	1,81 x 2,10	2,02 X 2,32		
Ⓛ x ⓑ Dimensiones en posición inclinada	2,11 x 1,75					2,82 x 1,97			
Versión corriente alterna :	Energía		110 / 220 V						
	Peso (kg)		326	346	366	401	440	461	545
Versión corriente continua :	Energía		12V						
	Peso (kg)		366	386	406	441	480	501	585

Características generales de la plataforma elevadora telescópica Haulotte Quick Up 14

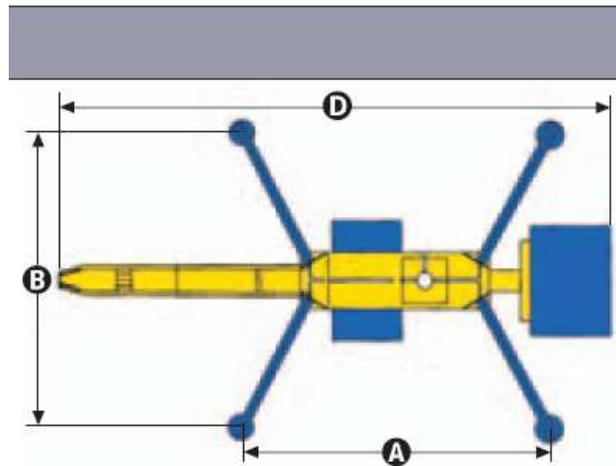
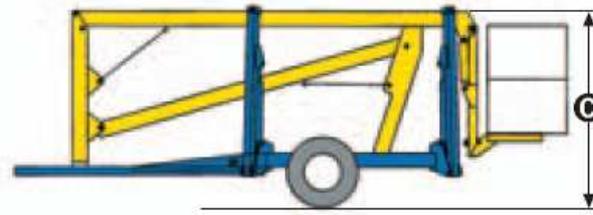
Esta plataforma está diseñada para trabajos muy específicos, de forma similar a las de estructura de tijera, aunque en este caso suelen ser utilizadas en el interior de naves industriales para trabajos unipersonales, tales como empresas de logística y almacenamiento en altura.

**Plataforma elevadora de personal articulada remolcable  
HAULOTTE 1300RT**



Rango de trabajo, posición de almacenaje, cotas generales y características (siguiente página) de la plataforma elevadora telescópica Haulotte 1300RT

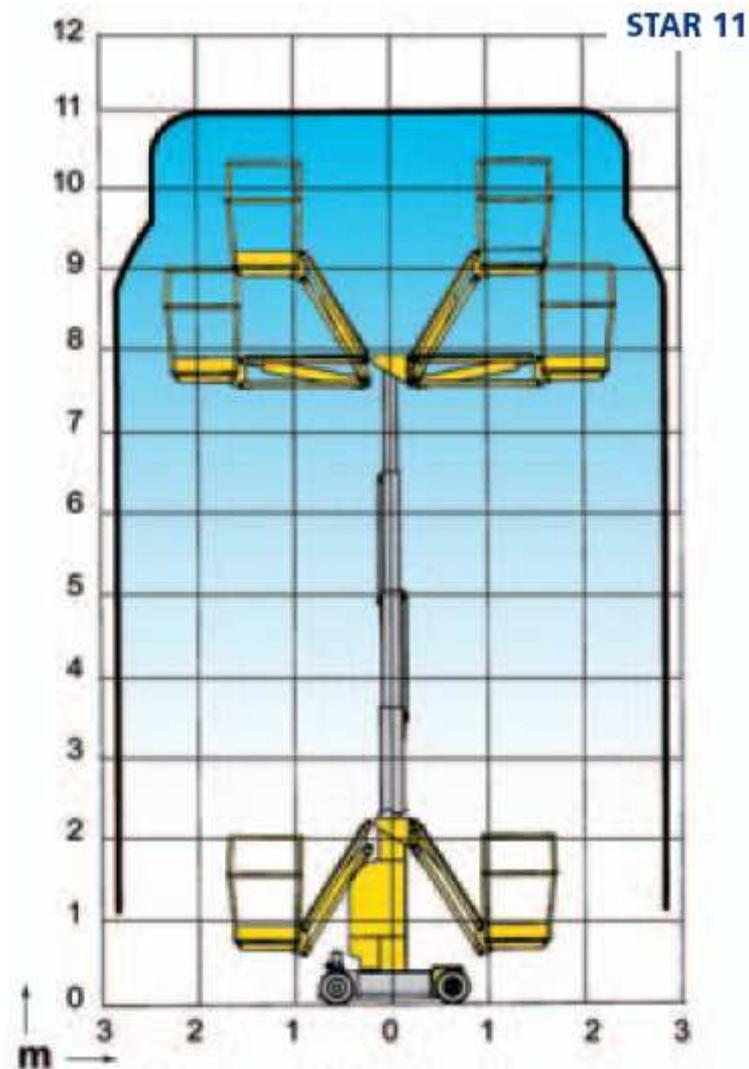
Aunque esta plataforma sería un caso de modelo muy económico, su poco rango de acción y falta de autopropulsión no la hace adecuada para el objetivo buscado.



### CARACTERÍSTICAS

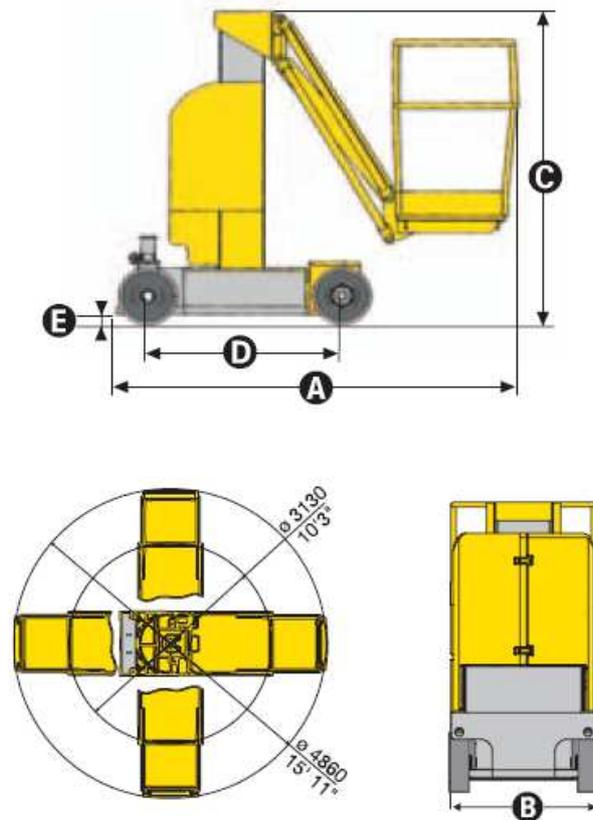
Altura de trabajo	13 m
Altura plataforma	11 m
Desplazamiento máximo	5,70 m
Ancho (con estabilizadores)	3,50 m
Capacidad	210 kg / 2 pers.
Dimensión cesta	0,80 x 1,20 m
Ⓐ x Ⓑ Dimensiones estabilizadas	3,20 x 3,50 m
Rotación torreta	359°
Rotación cesta	90° (opción)
Mandos	Proporcionales
Ancho transporte	1,55 m
Ancho replagada	1,2 m
Ⓒ Altura transporte	1,98 m
Ⓓ Longitud transporte	5,95 m
Peso	1 500 kg
Baterías	24 V - 178 Ah
Cargador incorporado	30 A

**Plataforma elevadora de personal vertical (mástil) HAULOTTE STAR12**



Rango de trabajo, posición de almacenaje, cotas generales y características (siguiente página) de la plataforma elevadora telescópica Haulotte Star12

Se trata de un diseño más avanzado y polivalente que el anterior mástil unipersonal. Sin embargo, sigue planteando el problema de la autopropulsión y de la falta de amplitud.



CARACTERÍSTICAS		
	STAR 11	STAR 12
Altura de trabajo	11 m	12 m
Altura plataforma	9 m	10 m
Desplazamiento máximo	2,5 m	
Capacidad máxima	210 kg / 2 pers.	
Ⓐ Longitud replegada	2,35 m	
ⓑ Ancho total	1,02 m	1,25 m
ⓒ Altura replegada	2,20 m	2,40 m
ⓓ Distancia entre ejes	1,20 m	
ⓔ Distancia al suelo	8 cm	
Dimensiones plataforma	0,96 x 0,66 m	
Alcance trasero	0	
Velocidad de traslación	1,1 / 5 km/h	
Tiempo subida (seg.)	36	40
Radio de giro exterior	2 m	2,15 m
Rotación de la torreta	360°	
Baterías	24 V - 275 Ah	
Autonomía	9 horas	
Cargador incorporado	30 A	
Pendiente máxima	20%	
Controlador de inclinación	1,5°/3,5°	3°
Medidas neumáticos	381/114 - 203,2	
Peso total	2600 kg	2650 kg

## **1.4.- Conclusión, selección y razonamiento**

### **Cuadro de selección**

#### **Articuladas**

##### **Diesel: Más adecuada**

*Eléctrica*: Menor autonomía y, por lo tanto, flexibilidad

*Montada en camión*: Coste excesivo

*Sobre oruga*: Adecuada para trabajos en zonas no urbanas.  
(Mayor coste)

*Telescópica*: Falta de polivalencia

*Elevador unipersonal*: No cumple la altura de trabajo mínima exigida

*Plataforma remolcable*: No cumple la altura de trabajo mínima exigida

*Vertical (mástil)*: No cumple la altura de trabajo mínima exigida

#### **Tijera**

*Eléctrica*: No cumple la altura de trabajo mínima exigida

*Diesel*: No cumple la altura de trabajo mínima exigida (por poco)  
Falta de polivalencia

Para seleccionar la plataforma más adecuada al trabajo requerido, el mejor método es la comparación entre los requisitos exigidos y las respectivas características.

Todas las plataformas planteadas cumplen los requisitos de seguridad mínimos, sin embargo, no todos los modelos son capaces de alcanzar la altura exigida. Por esta razón se descartan la de tipo tijera eléctrica, mástil vertical, elevador unipersonal y la plataforma articulada remolcable. La elevadora tipo tijera y la telescópica con motor diesel alcanzan un máximo de 18 metros, por lo que podrían plantear dudas. Sin embargo, este diseño ofrece una desventaja crucial: falta de polivalencia.

Los movimientos de las plataformas con estructura de tijera y telescópica son más sencillos y rápidos, pero ofrecen menores posibilidades de acceso a determinados puntos, habituales en trabajos con árboles, limpieza de estatuas, calles estrechas, etc.

La plataforma articulada de oruga está diseñada para el trabajo en montes, campos, pendientes pronunciadas o inestables y, en general, para zonas no urbanas, por lo que su coste es mayor. En el caso opuesto se encuentra la eléctrica, cuya limitada autonomía le exige estar siempre cerca de una toma de tensión.

La elevadora montada sobre un camión presenta un coste muy elevado debido al propio vehículo. Ésta es adecuada para trabajos sistemáticos, como la poda de árboles, que requieran una primera fase de trabajo en altura y una segunda fase de carga y transporte de los residuos generados. Otra opción de este sistema es el uso en localidades lejanas, ya que es un elemento autosuficiente.

La **plataforma elevadora articulada con motor diesel HAULOTTE HA20PX** es la mejor opción pues cumple los requisitos planteados:

Medidas de seguridad

Altura de trabajo mínima

Polivalencia: gran radio de acción debido a sus articulaciones y a la posibilidad de girar sobre sí misma 360° continuos.

Bajo coste de adquisición y mantenimiento: 45.000 aprox.

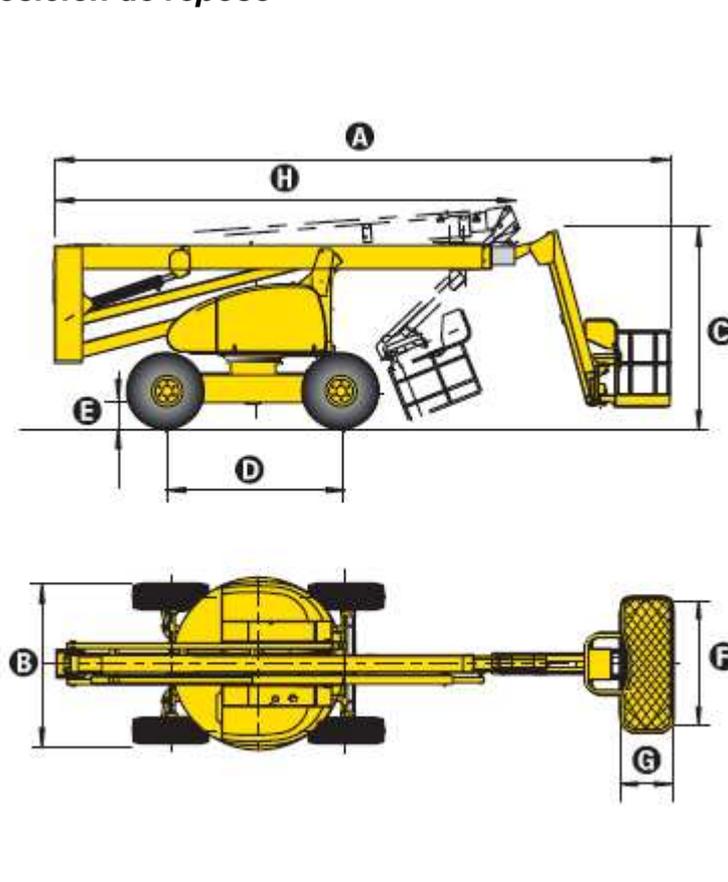
Simplicidad de transporte

## 2.- Descripción general de la máquina seleccionada

### 2.1.- Descripción

El equipo seleccionado para analizar es la plataforma elevadora articulada diesel Haulotte HA 20 PX.

#### *Croquis en posición de reposo*



<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
Altura de trabajo	20,65 m
Altura plataforma	18,65 m
Alcance máximo	13,5 m
Punto de articulación	6,8 m
Capacidad máxima	230 kg
Abatimiento pendular	140° (-70°/+70°)
Ⓐ Largo replegado	8,93 m
Ⓑ Ancho	2,38 m
Ⓒ Altura replegada	2,67 m
Ⓓ Distancia entre ejes	2,8 m
Ⓔ Altura sobre el suelo	42 cm
Ⓕ x Ⓖ Dimensiones plataforma	1,8 m x 0,8 m
Ⓗ Largo de transporte	6,8 m
Altura de transporte	3,1 m
Alcance trasero	0
Velocidad de traslación	0,5 à 4,5 km/h
Radio de giro exterior	3,9 m
Rotación hidráulica torreta	360° continuo
Rotación hidráulica cesta	180°
Motor	Diesel Deutz 57,1 CV - 42kW
Mandos	Proporcionales
Pendiente máxima	40 %
Neumáticos inyectados	385x65x22,5
Depósito hidráulico	150 l
Depósito gasoil	150 l
Peso total	11 710 kg

Además de su estructura articulada, la característica principal es la altura de trabajo capaz de alcanzar (20 metros) y el alcance máximo en horizontal (13.5 metros).

**Características:**

- Accesibilidad optimizada gracias al pendular con movimiento positivo y negativo 140 (-70°/+70°)
- Radio de giro estrecho 3.9 m permite una excelente manejabilidad
- Bloqueo diferencial hidráulico y una altura sobre el suelo de 42 cm permitiendo un uso todo terreno
- Rotación de la torreta 360° continuo
- Rotación de cesta hidráulica 180°
- Posición replegada facilitando el almacenaje y el transporte
- Productividad aumentada gracias a los mandos enteramente proporcionales y simultáneos
- Seguridad aumentada gracias al limitador de carga en plataforma
- Robusta, fiable y fácil de mantener

### **Equipamiento estándar**

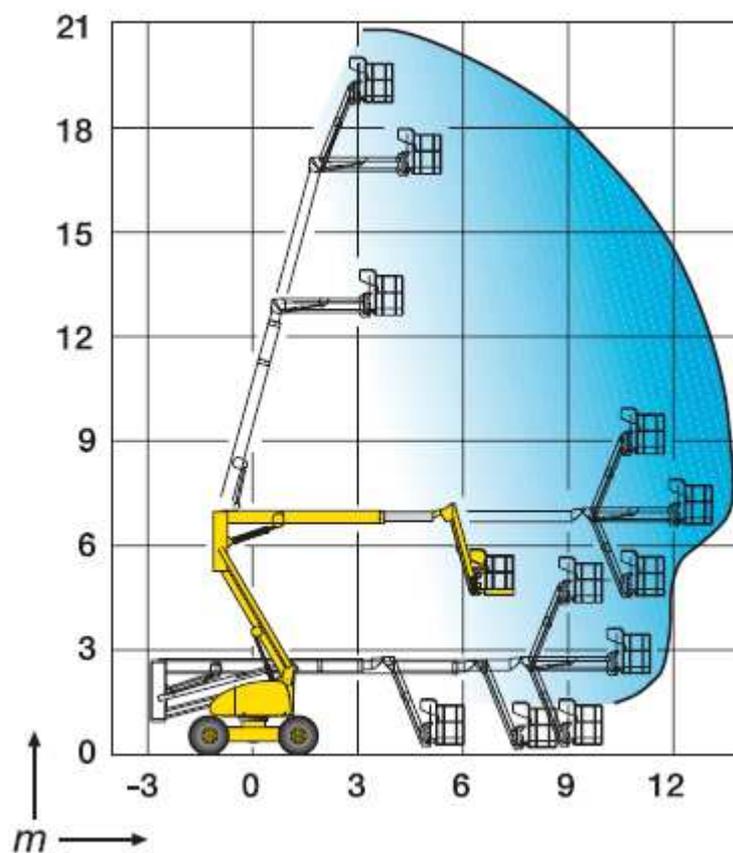
- 4 ruedas motrices y 4 ruedas directrices
- Controlador de inclinación 5°
- Motor diesel Deutz insonorizado (F4L1011L)
- Enchufe eléctrico (220 V) dentro de la plataforma
- Circuito eléctrico 12 V
- Baterías de arranque 12 V - 95 AH
- Puesta en rueda libre
- Grupo electro-bomba de emergencia
- Utilización en exterior con toda seguridad, resiste a los vientos hasta 45km/h
- Contador de horas
- Bloqueo de orientación
- Anillas de remolque y elevación
- Sonido de traslación
- 2 anillas en cesta para arnés de seguridad

### **Accesorios**

- Giro-faro
- Catalizador
- Generador incorporado 3,3 KW
- Módulo de arranque codificado
- Faro de trabajo
- Kit de países cálidos

- Kit de países fríos
- Cesta ancha 2,3 x 0,8
- 250kg de capacidad con un viento de 60 Km/h (peso de la máquina: 12 260kg)

### Radio de trabajo

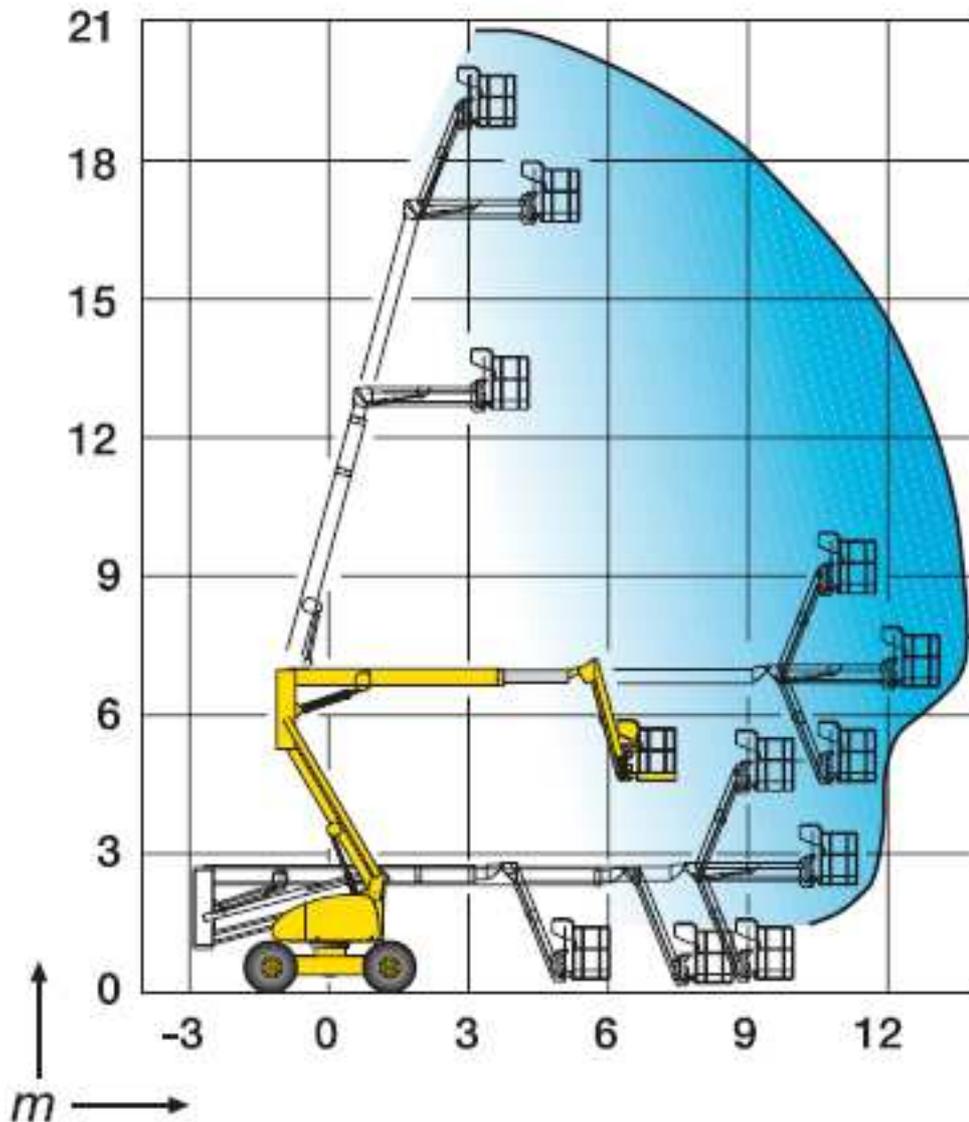


Este gráfico define la capacidad de acceso a puntos difíciles de la plataforma articulada.

## **3.- Análisis previo**

### **3.1.- Análisis geométrico**

En este apartado va a realizarse el estudio analítico de las diferentes posiciones, giros y movimientos que la máquina puede desarrollar, con el objetivo de determinar las posiciones más desfavorables para su posterior análisis estático.



## Conjuntos mecánicos y posiciones respectivas

- Cesta
  - Posición única
  
- Brazo superior
  - +70°
  - 0°
  - -70°
  
- Articulación superior
  - Horizontal (0°)
  - Superior (75°)
  
- Brazo central
  - Horizontal extendido
  - Horizontal recogido
  - 75° extendido
  - 75° recogido
  
- Cabeza mástil
  - Cilindro KH comprimido
  - Cilindro KH extendido
  
- Mástil
  - Extendido
  - Recogido
  
- Base rotativa
  - Giro 360°
  
- Chasis

\*Nota:

Cabeza-mástil y Mástil son mejoras realizadas sobre el diseño de referencia.

Análisis del diseño previo a la mejora:

- Articulación central
  - Posición superior / Cilindro KH comprimido
  - Posición superior / Cilindro KH extendido
  - Posición inferior / Cilindro KH comprimido
  - Posición inferior / Cilindro KH extendido
  
- Brazo inferior
  - Posición inferior ( $195^{\circ}$ )
  - Posición media ( $0^{\circ}$ )
  - Posición superior ( $120^{\circ}$ )

Base rotativa y chasis no son objeto de este estudio

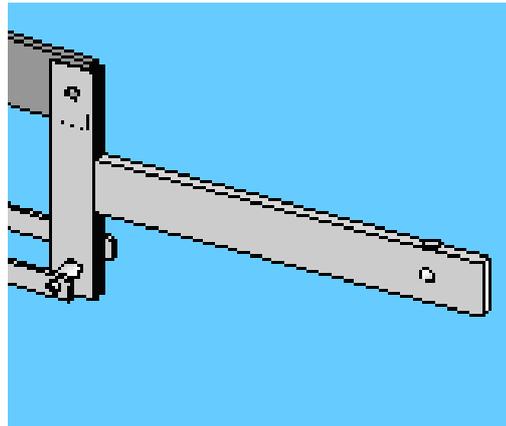
### **Cesta**

D1: Distancia aplicación carga – unión con brazo superior (barra AB) = 600 mm

D AB = 400 mm

Pasador A=>

Pasador B=>



^  
Aplicación carga

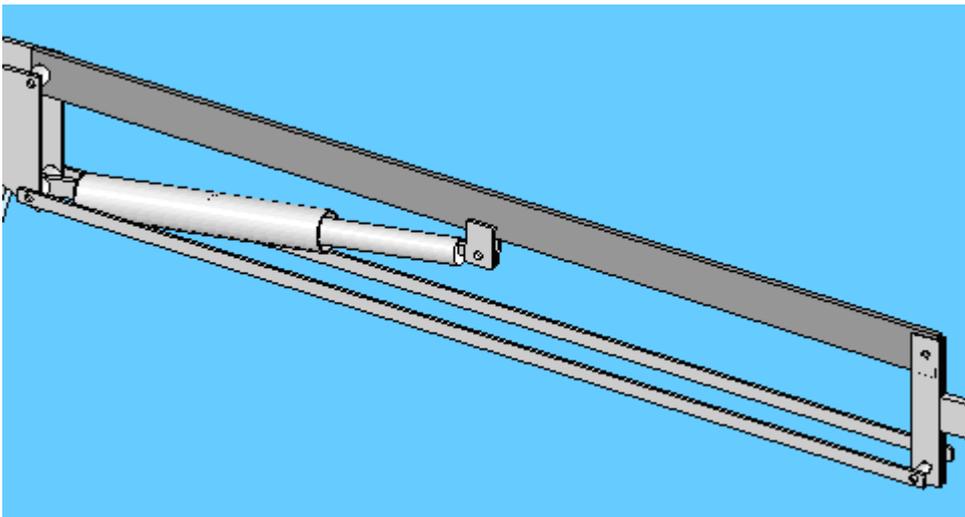
### **Brazo superior**

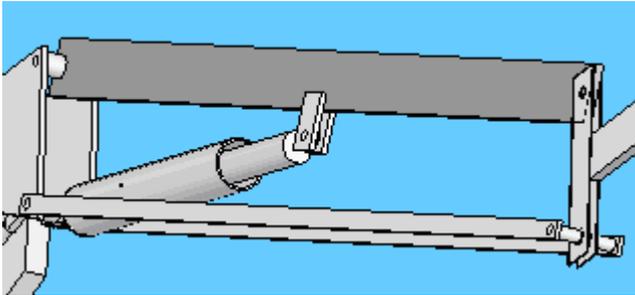
Existen dos brazos inferiores para compensar los posibles efectos de torsión no calculados, procedentes de los movimientos del operario en la cesta, inclinación del terreno, etc.

DC y AB siempre son paralelas y perpendiculares al suelo para garantizar la horizontalidad de la cesta.

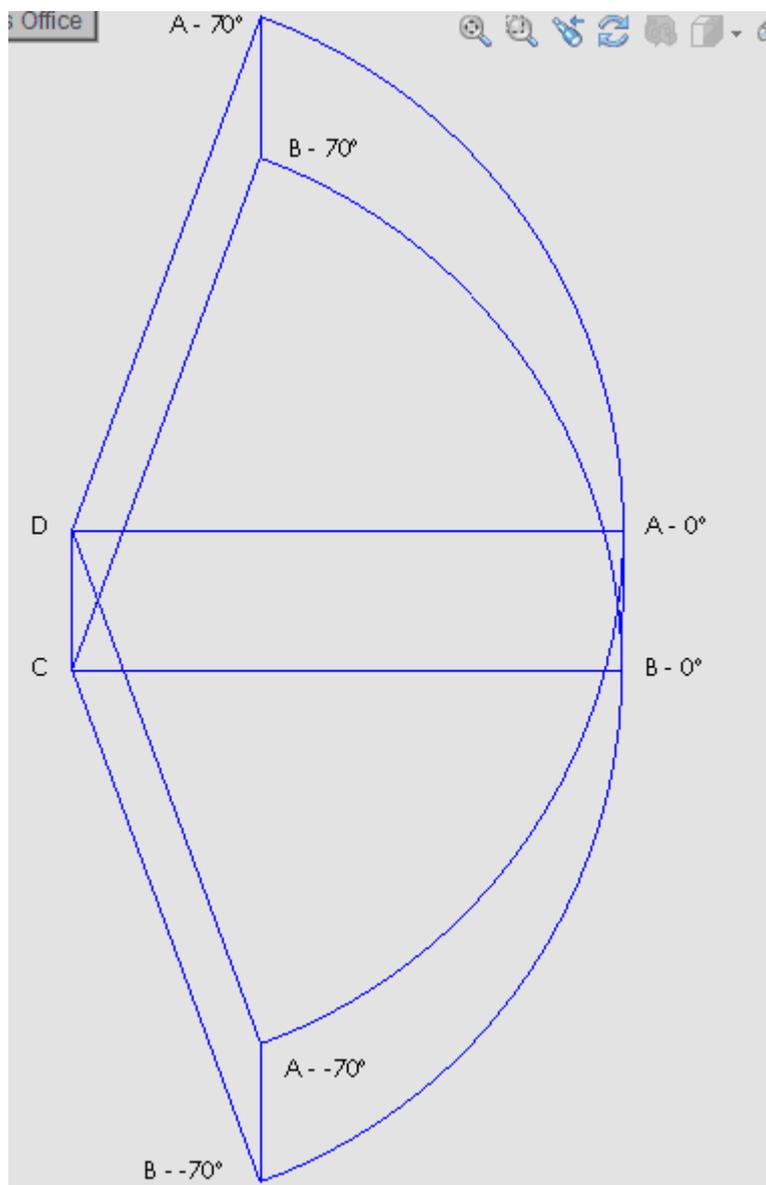
- Brazo superior
  - +70°
  - 0°
  - -70°

Distancias:  $d AD = d BC = 2500 \text{ mm}$   
 $d AB = d CD = 400 \text{ mm}$   
 $d DE = d EA = 1250 \text{ mm}$

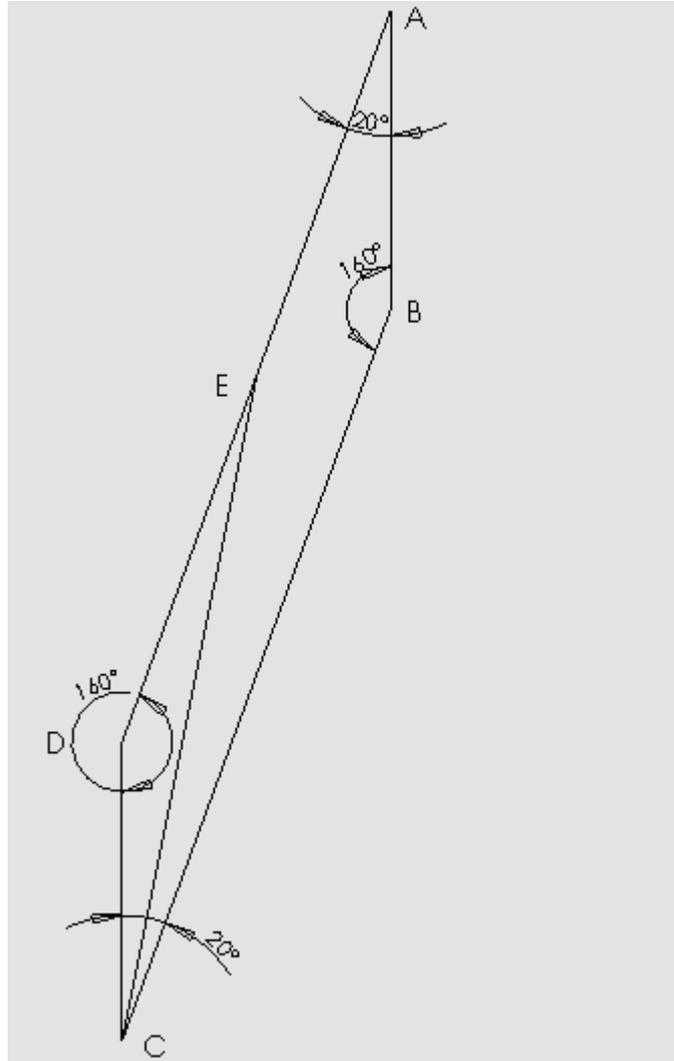




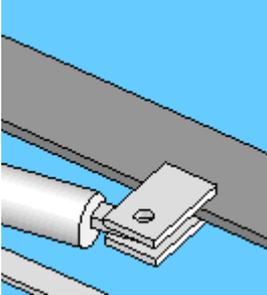
Análisis gráfico de los movimientos del brazo superior



Posición y magnitudes en la situación más desfavorable (+70°)



## Placas E

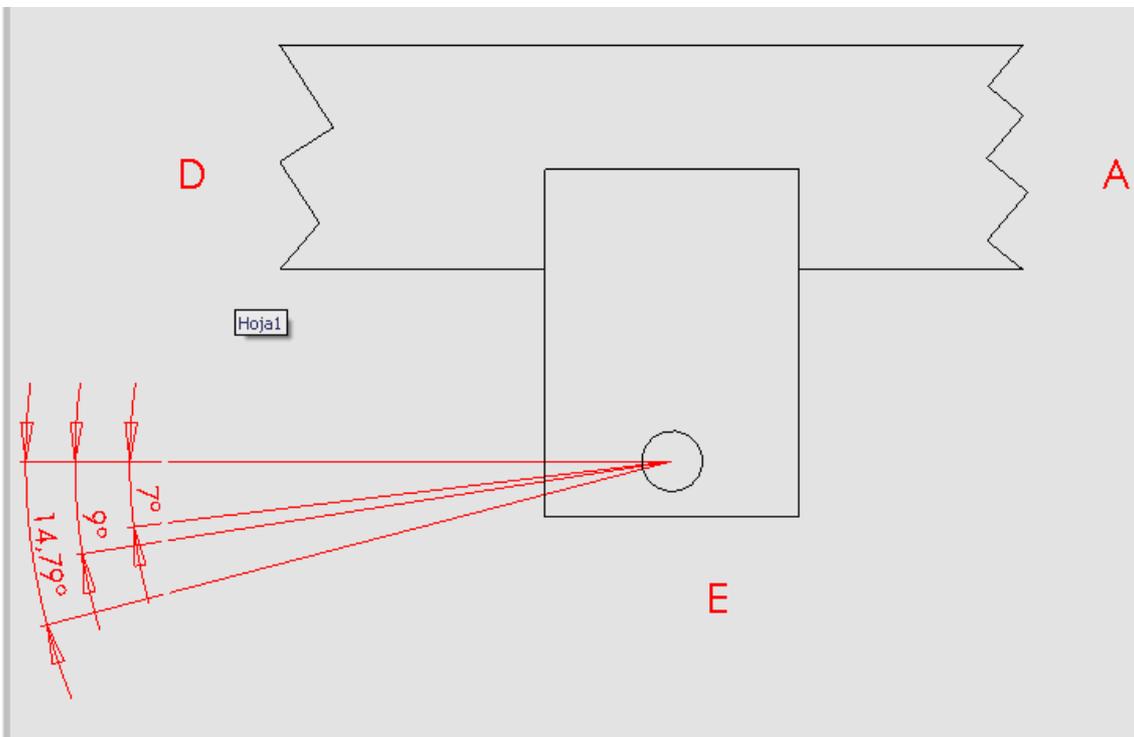


La carga se aplica con un rango de incidencia de  $7.787^\circ$

Ángulo mínimo:  $7^\circ$

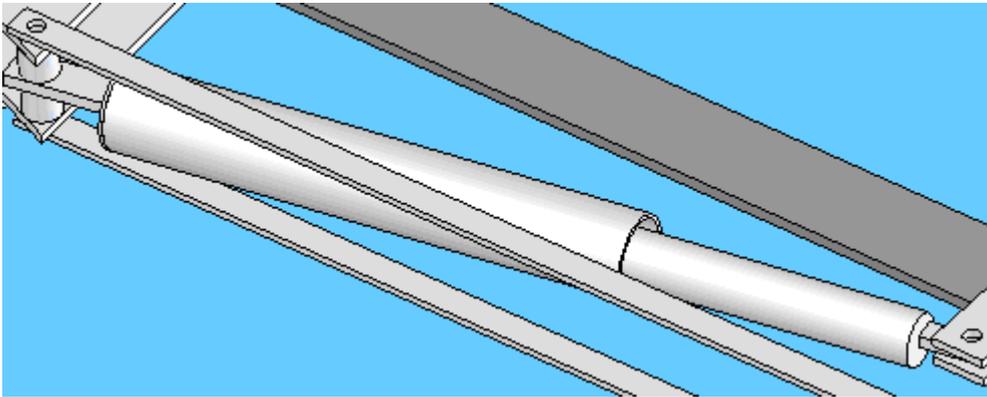
Ángulo máximo:  $14.787^\circ$

(respecto de la horizontal)

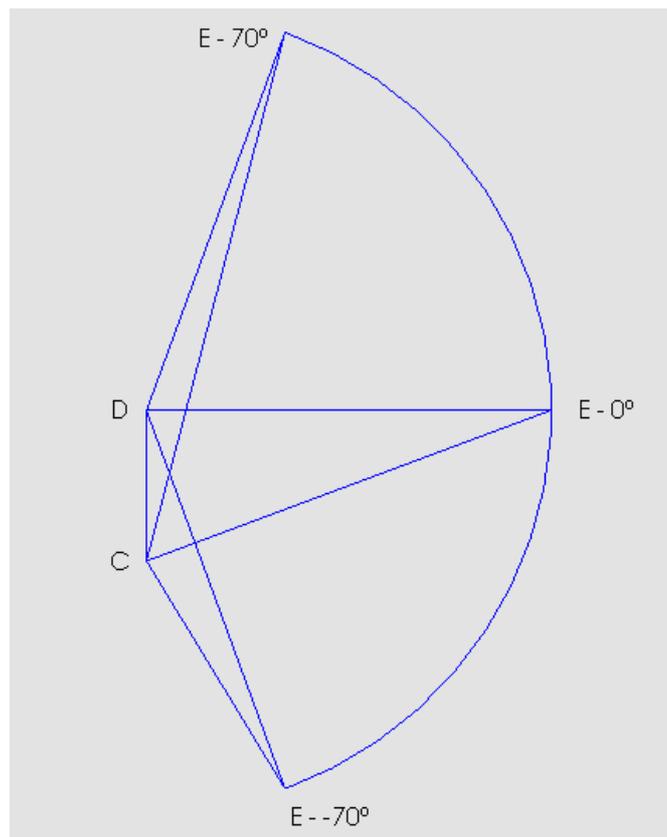


Cilindro CE

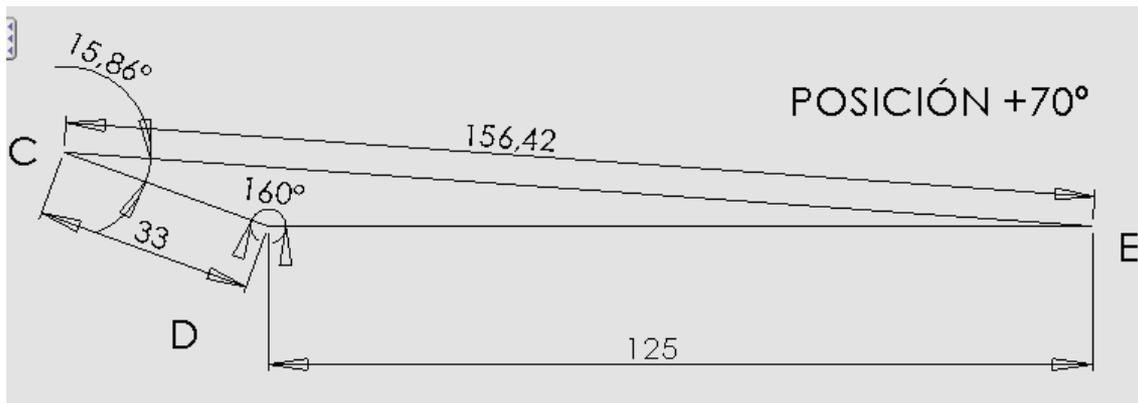
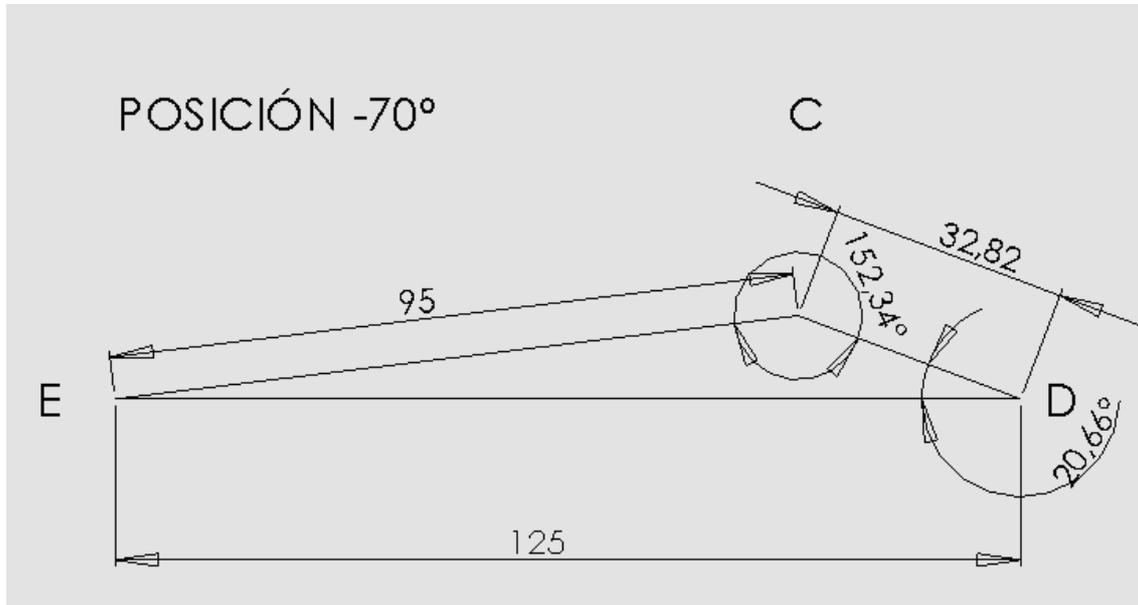
Carrera = 615 mm



Comprobación gráfica de que la mínima extensión del cilindro es en  $-70^\circ$



Cálculo gráfico de EC, con todas sus magnitudes

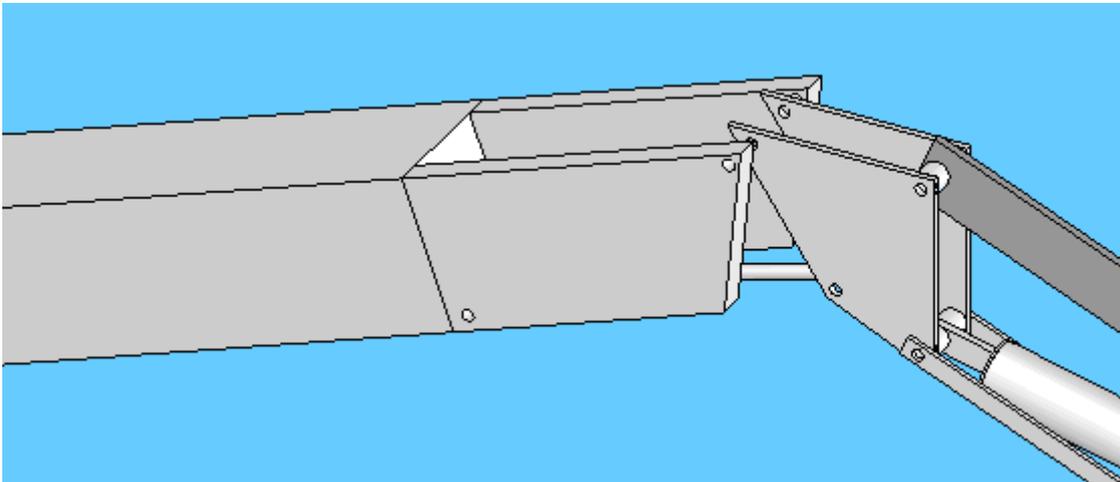


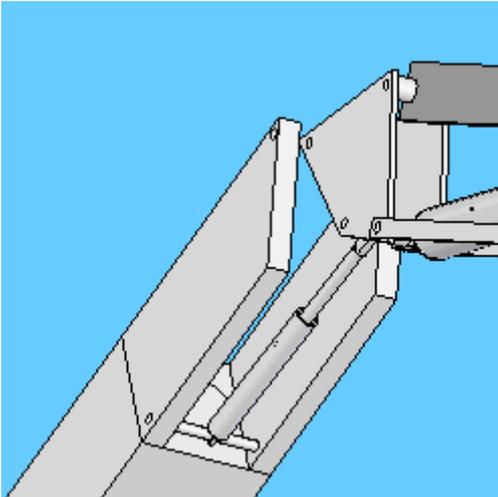
### **Articulación superior**

Formada por dos placas gemelas

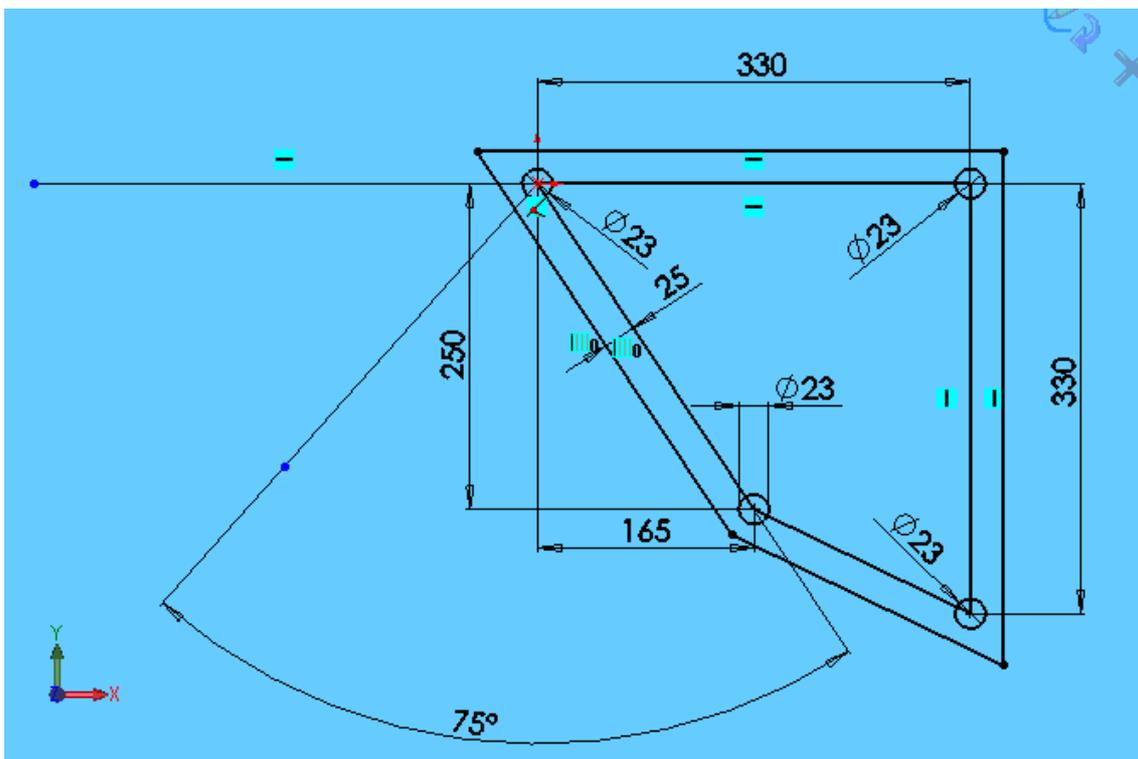
La arista FC siempre es paralela al suelo

El giro relativo de la articulación superior respecto del brazo central es de  $75^\circ$

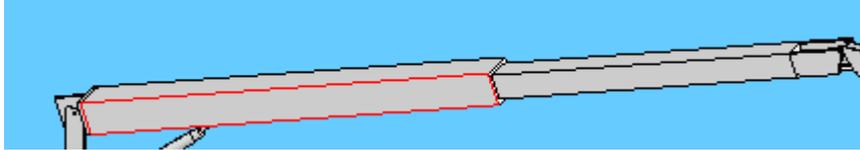




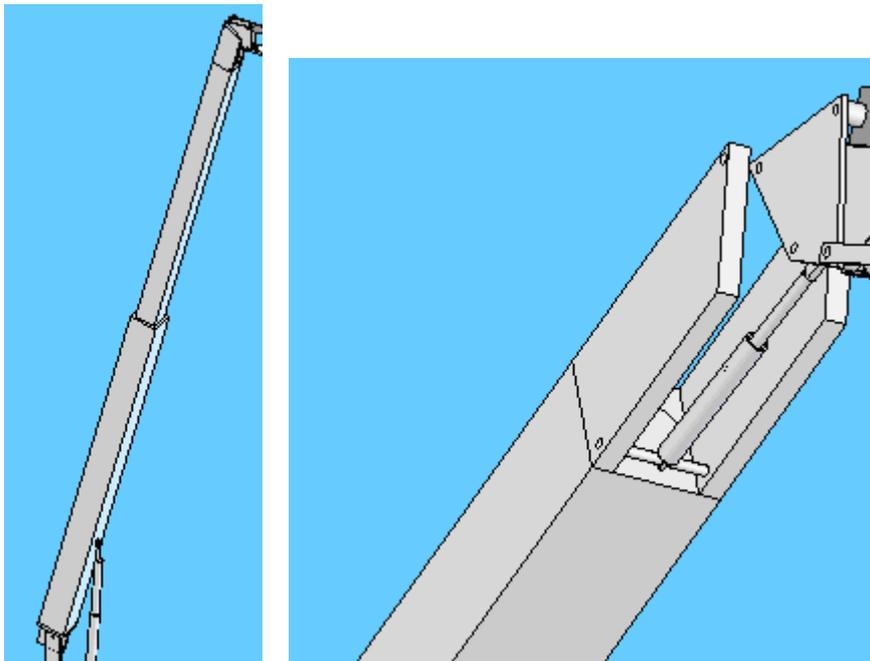
Rango de movimiento de la articulación superior, además de sus dimensiones



## **Brazo central**



Se trata de una estructura que soporta los esfuerzos de flexión y cortadura y recubre al cilindro interior, que es el quien se encarga de los esfuerzos axiales.



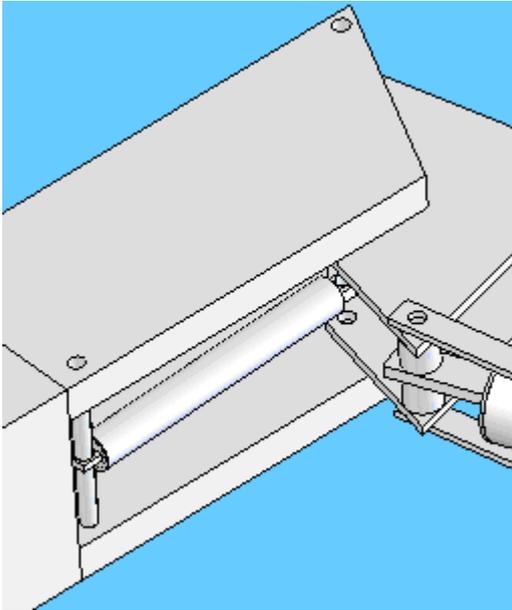
Dimensiones:

IF = 11000 mm

IHx = 1800 mm

IHy = 300 mm

Posee un cilindro en la punta (Cilindro JG) encargado del movimiento de la articulación superior.



Para todos los cálculos de esta sección, el cilindro JG se supone parte estructural del brazo central.

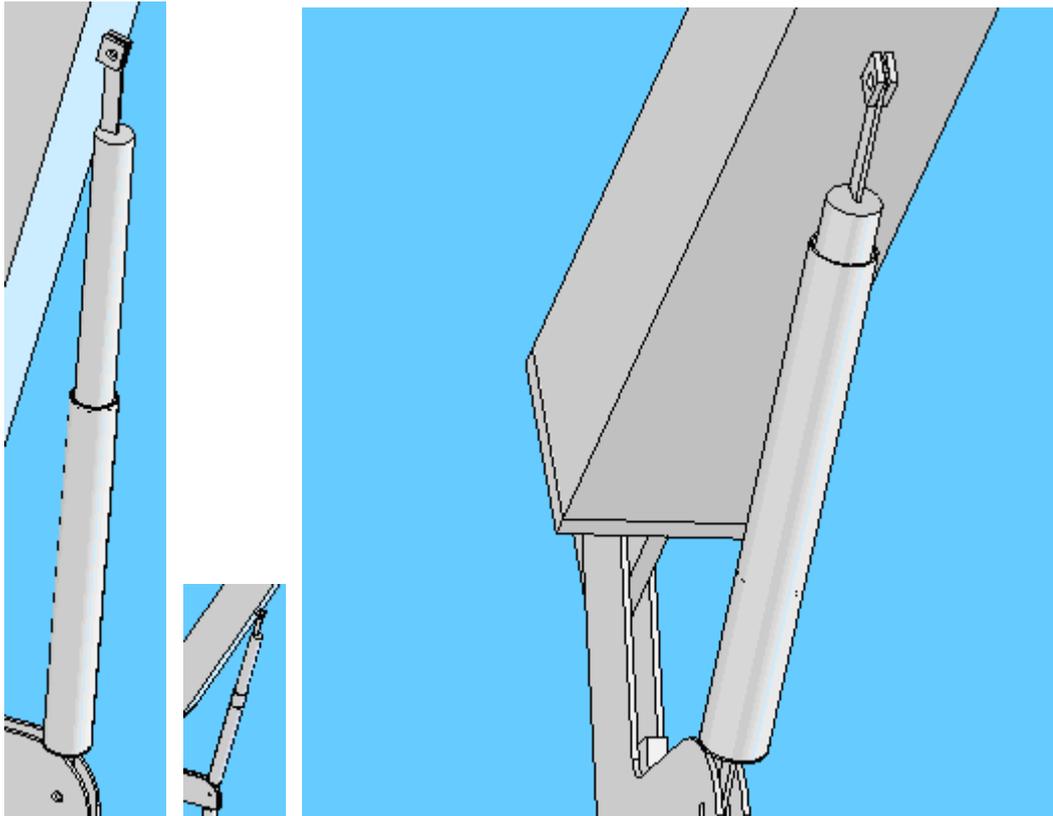
Considero además que su fuerza siempre se encuentra en la misma dirección que el eje del brazo.

El radio de giro del cilindro es mínimo, por lo que se considera que su esfuerzo siempre será longitudinal.

Carrera = 362 mm

## Cilindro KH

Es el encargado de levantar el brazo central.



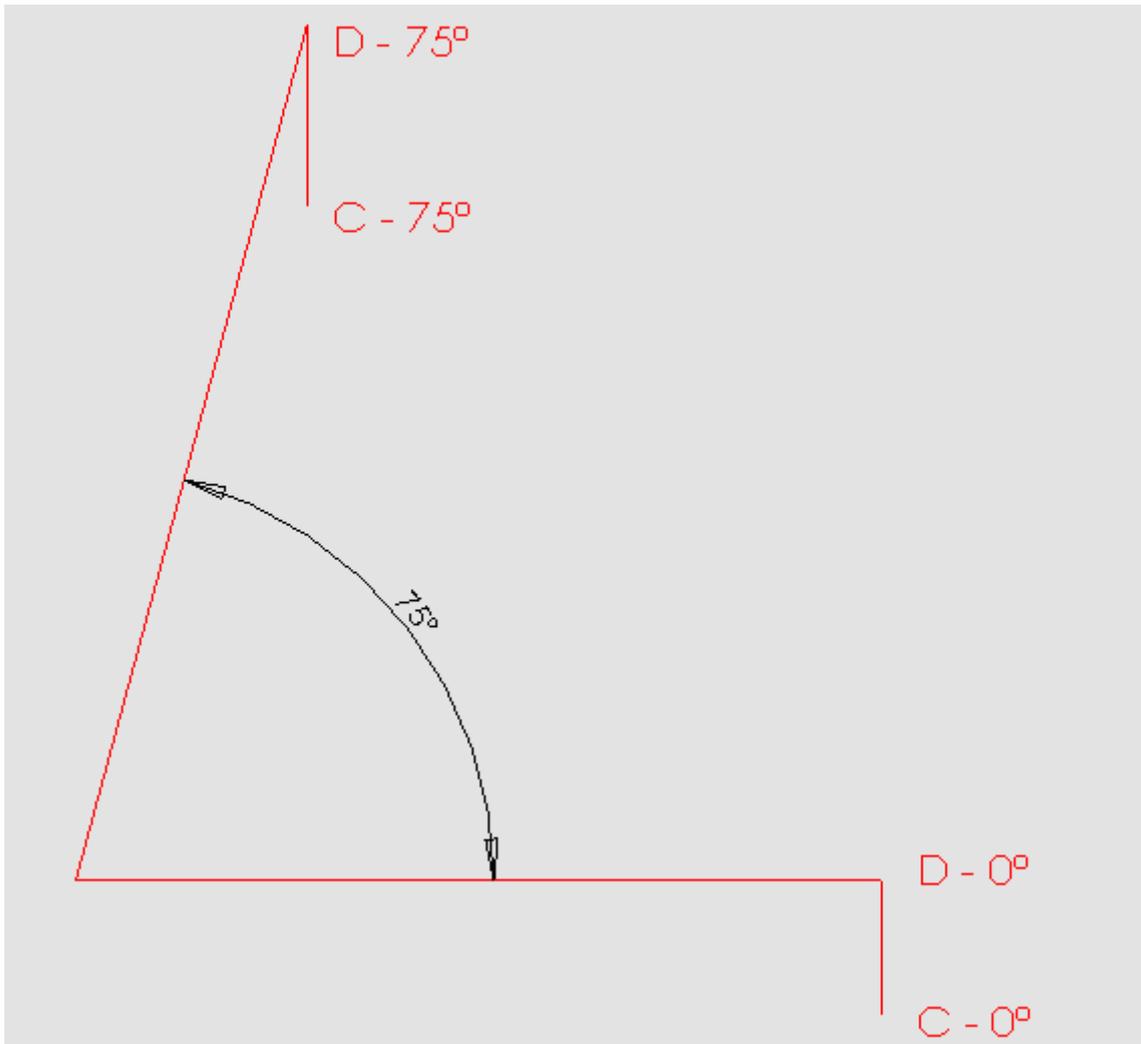
Carrera = 1050 mm

## Placas H

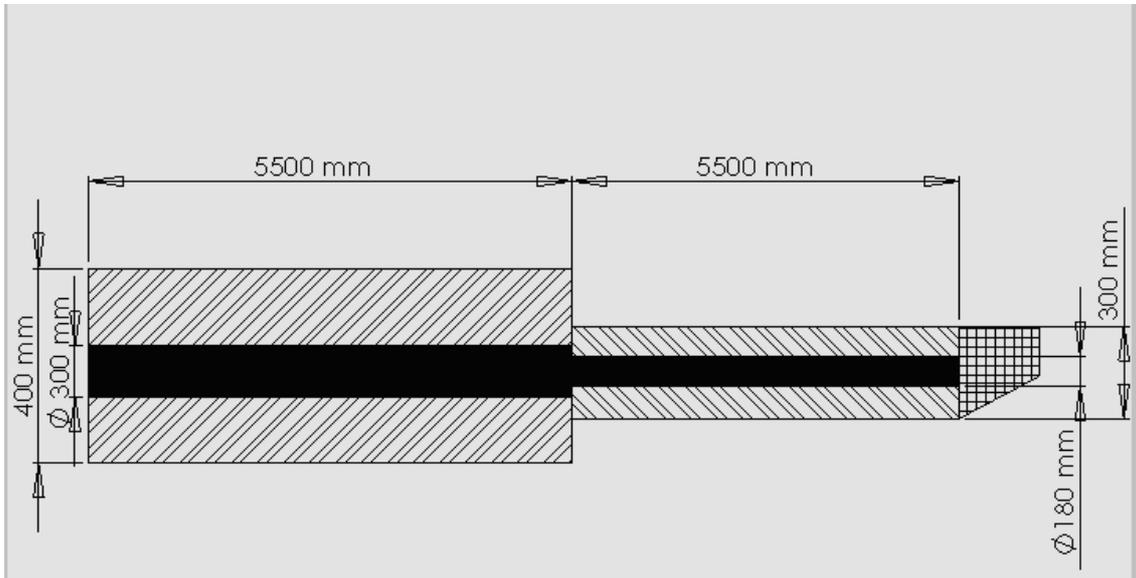


En el momento de máxima inclinación del brazo central, la fuerza procedente del cilindro KH que soportan se aplica con un ángulo de  $85^\circ$  respecto de la horizontal.

Rango de movimientos del brazo central

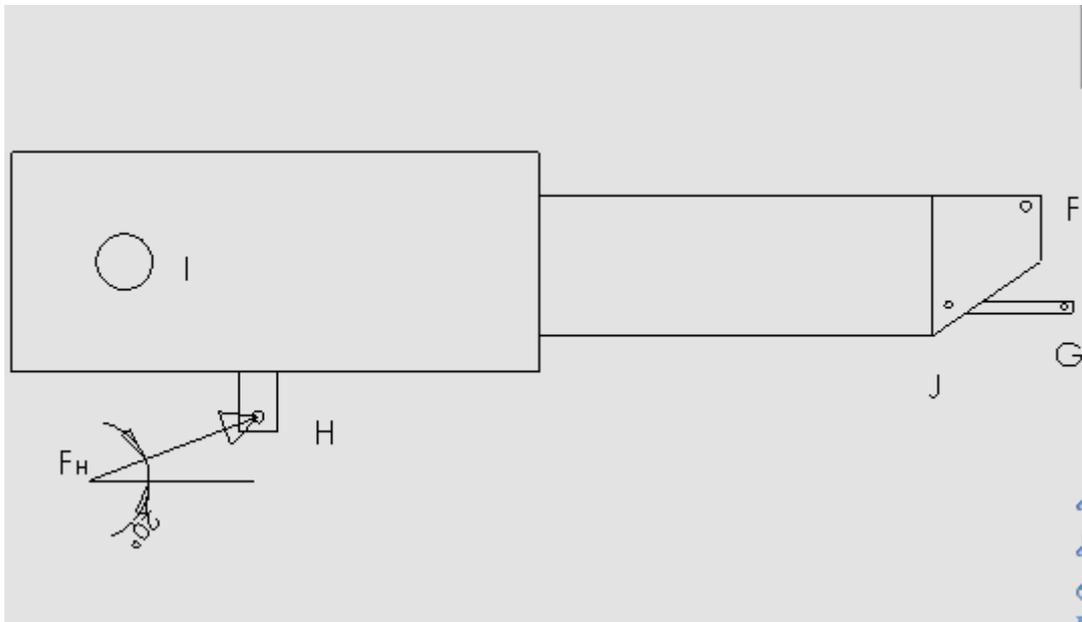


Croquis de la sección del brazo central, así como de sus dimensiones

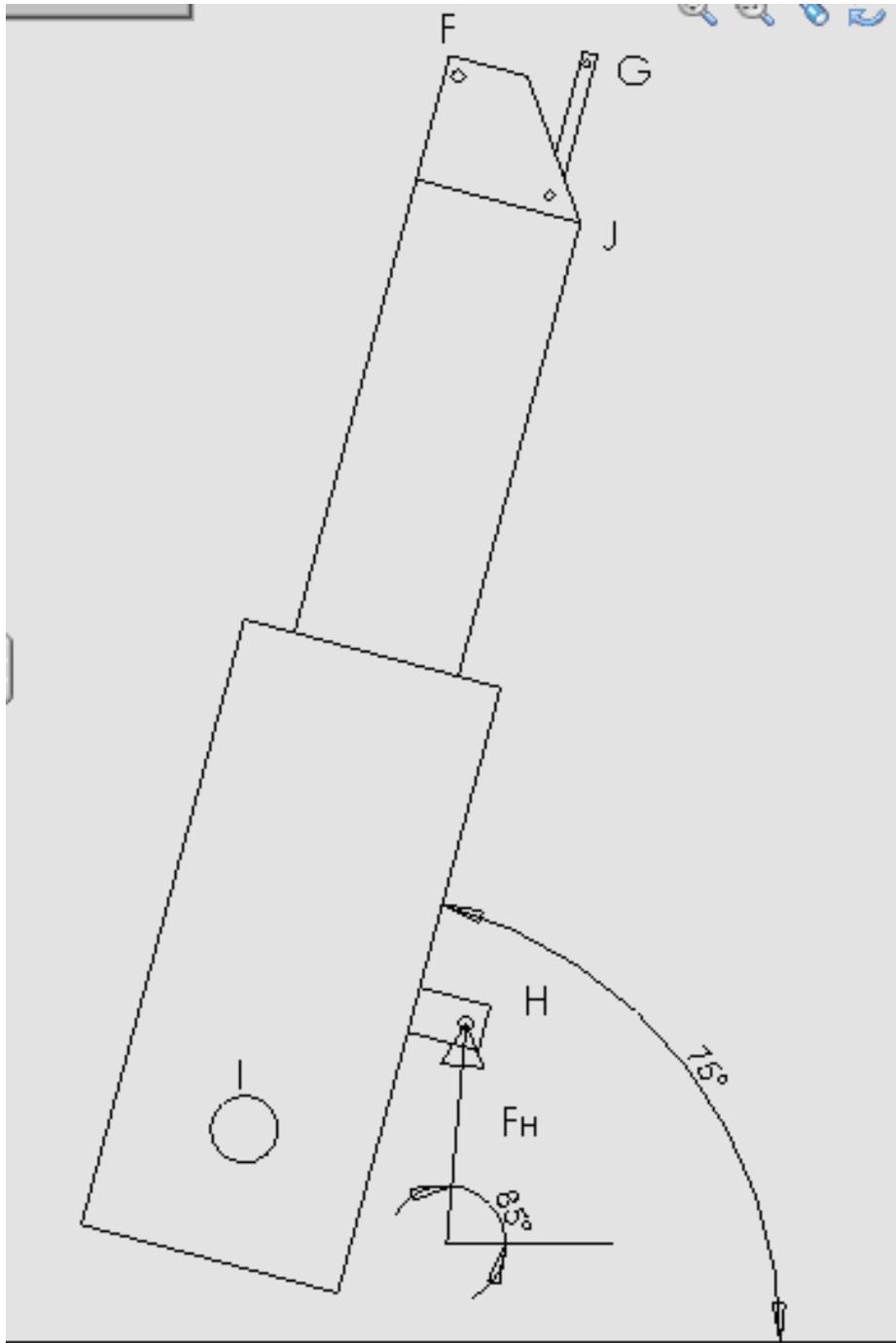


Croquis del brazo central y aplicación de la fuerza de su cilindro actuador

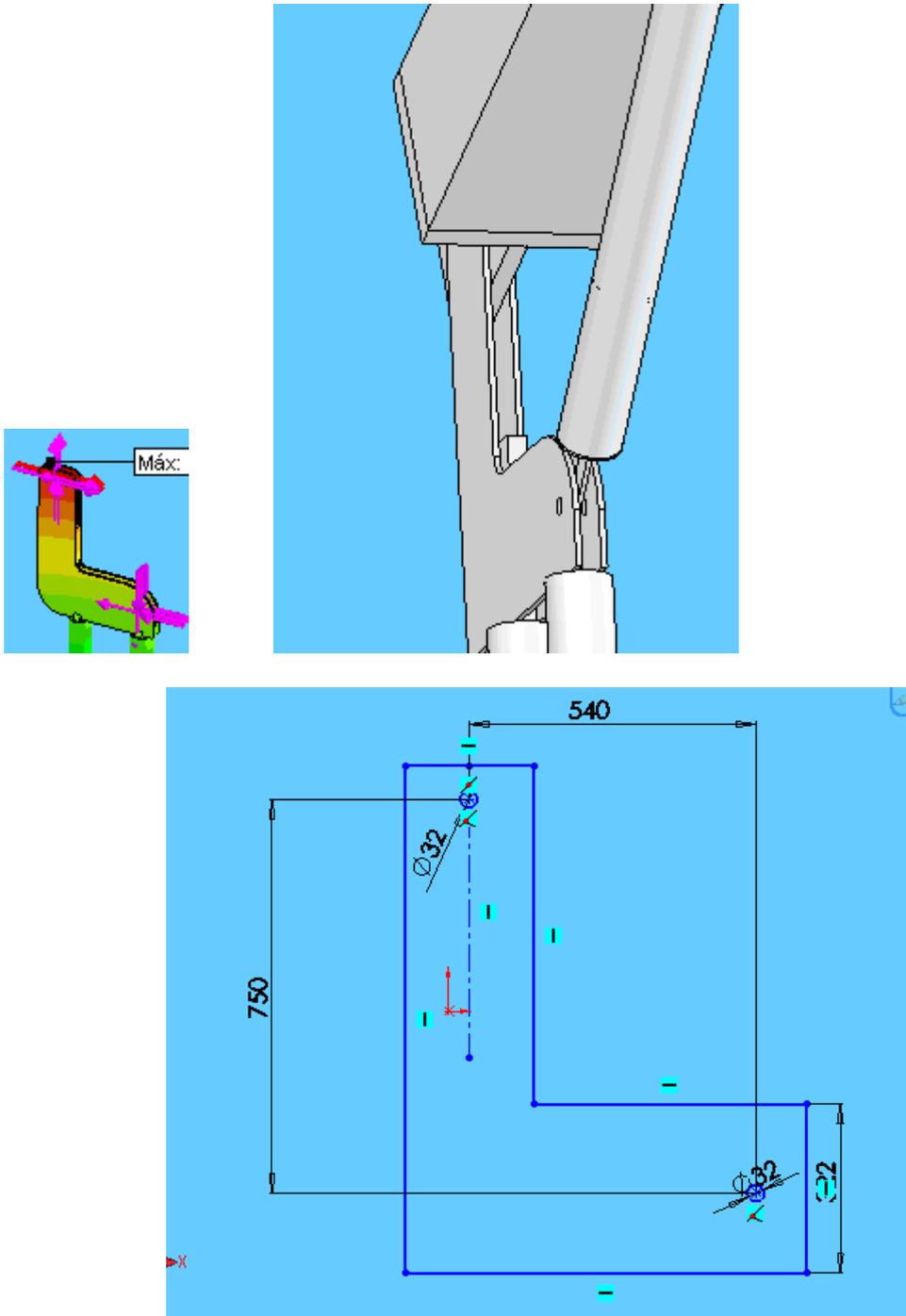
Posición horizontal 0°



Posición inclinada  $75^\circ$

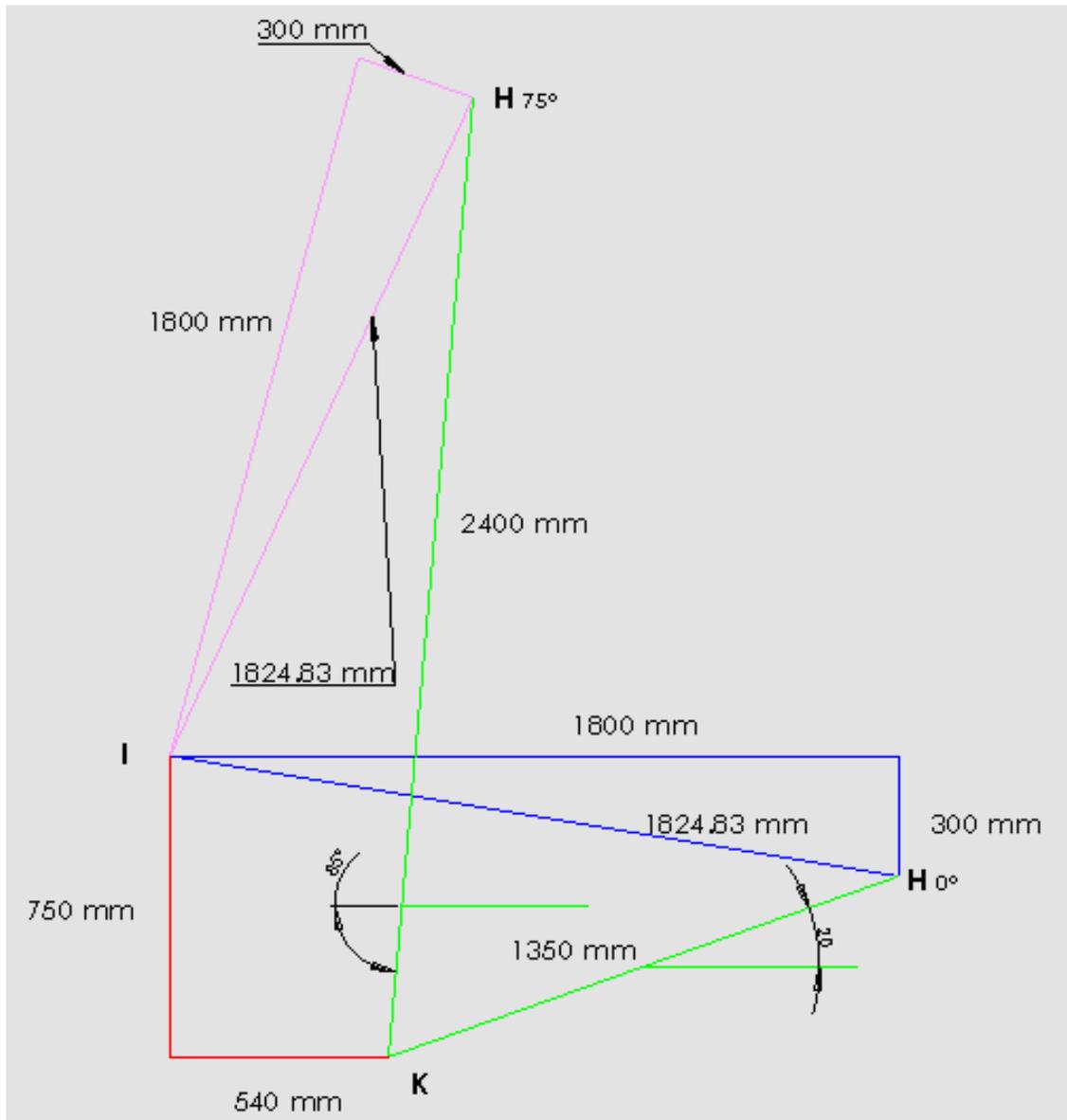


### Cabeza del mástil



\*La pieza difiere en los redondeos, al ser realizados tras el diseño de la misma

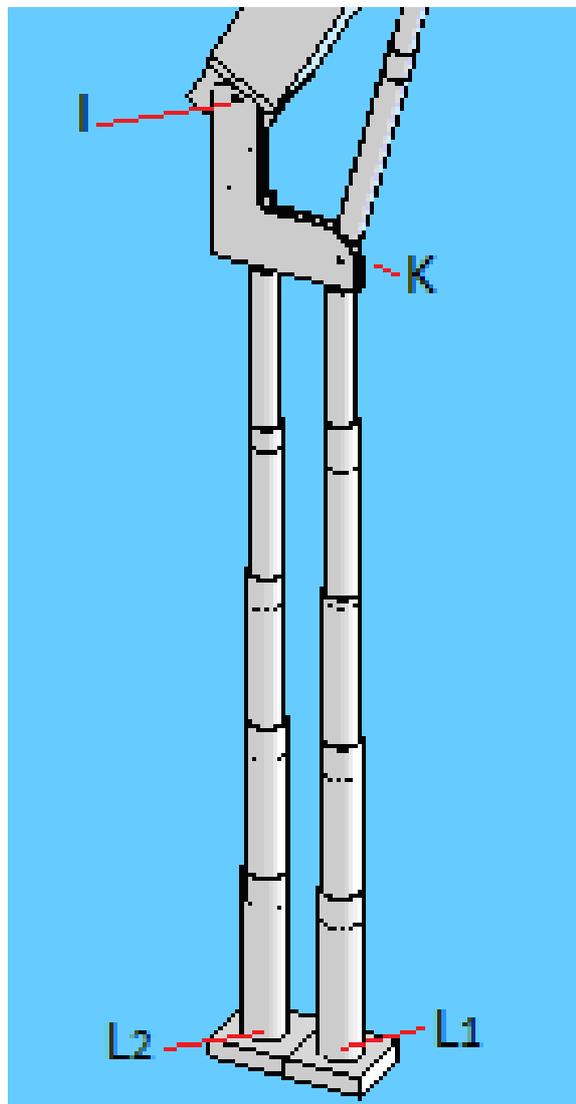
Diseño de la cabeza del mástil y longitud máxima y mínima del cilindro KH, actuador del brazo central



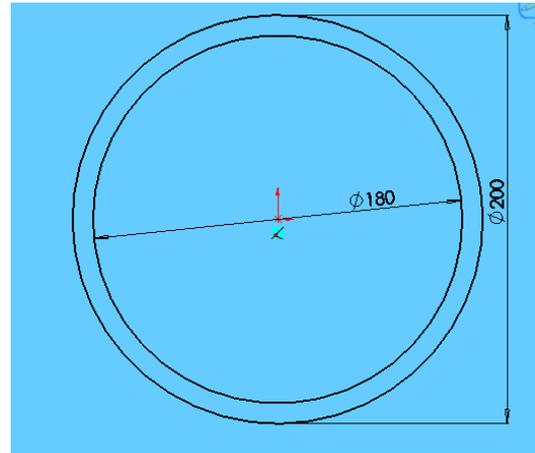
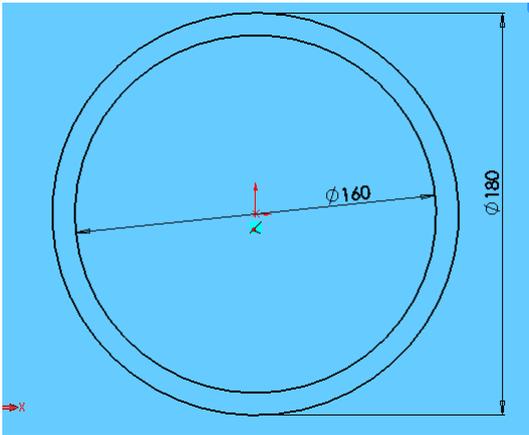
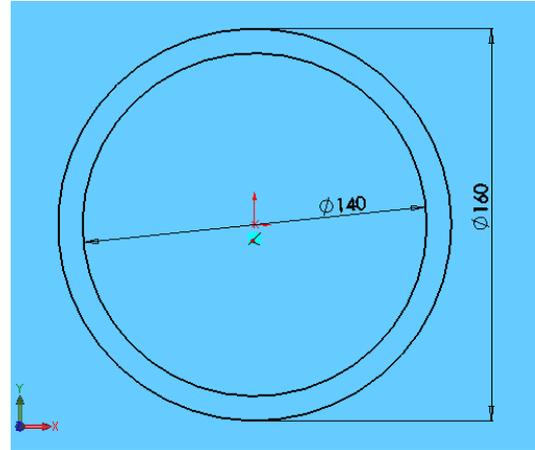
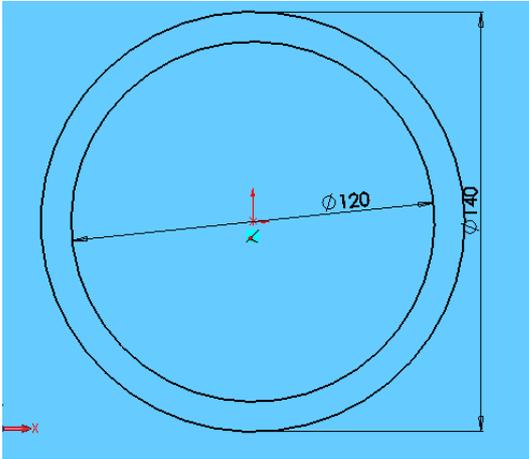
## **Mástil**

Se trata de una pareja de cilindros extensibles capaces de elevar el resto del mecanismo.

En la posición de mayor altura, I debe estar a 5250 mm. Como K se encuentra 750 mm por debajo, los cilindros deben ser capaces de levantar K hasta 4500 mm. Dejando un margen para la anchura de la zona inferior de la cabeza del mástil (250 mm.), se considera que la elongación máxima de los cilindros será de 4250 mm.



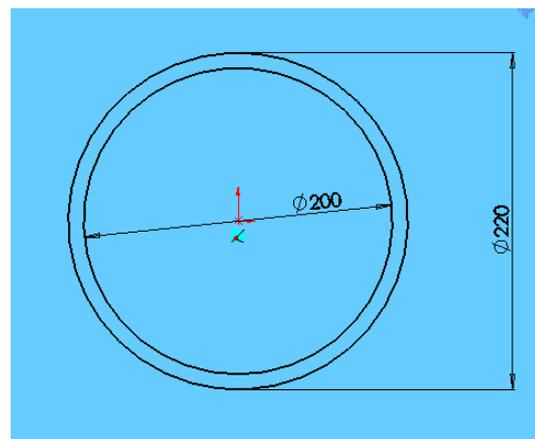
Sección de las 5 camisas de cada uno de los dos cilindros extensibles que componen el mástil



-Longitud total = 4250 mm

-5 camisas

-Cada camisa posee 1000 mm, de longitud de los cuales 850 sirven como altura útil de elevación



## Razonamiento por el cual es modificada la parte inferior de la máquina

### Análisis geométrico del área inferior de la plataforma

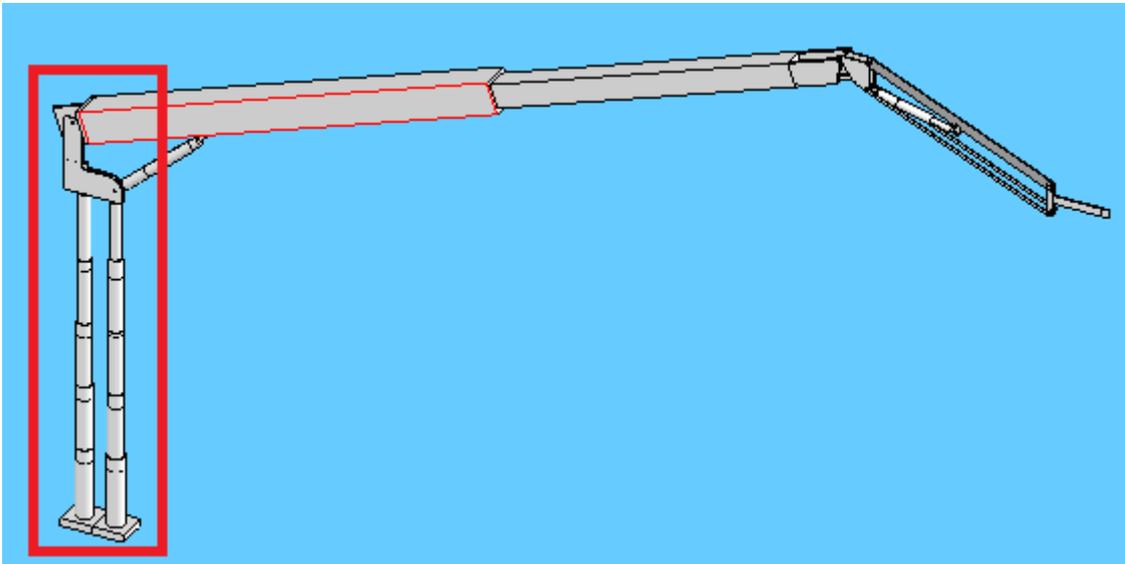
Sistema original Haulotte HA 20 PX:

- Articulación central
  - Posición superior / Cilindro KH comprimido
  - Posición superior / Cilindro KH extendido
  - Posición inferior / Cilindro KH comprimido
  - Posición inferior / Cilindro KH extendido
  
- Brazo inferior
  - Posición inferior ( $195^\circ$ )
  - Posición media ( $0^\circ$ )
  - Posición superior ( $120^\circ$ )



Sistema modificado:

- Cabeza mástil
  - Cilindro KH comprimido
  - Cilindro KH extendido
  
- Mástil
  - Extendido
  - Recogido



### Motivo

Sistema muy complejo con el único objetivo de elevar el resto de la grúa

### Objetivo

Simplificar el mecanismo. Sustituir el paralelogramo más su cilindro actuador por un sistema más sencillo

### Propuestas

- Realizar un paralelogramo en el cual uno de los lados es el cilindro actuador
  - No es estable dinámicamente, ya que la articulación central no permanecería vertical y, con ella, el resto de la grúa
  
- Sustituir por un mástil
  - Es la más sencilla y, por lo tanto, económica
  - El cilindro-mástil es más eficaz al trabajar verticalmente en vez de forma inclinada
  - La única desventaja es que la altura total de la plataforma en “modo reposo” es mayor. Se considera una solución ventajosa
  
- Sustituir por un mástil-cilindro extensible
  - Aúna las características del caso anterior, superando su única desventaja



### **3.2.- Análisis estático y predimensionado**

En base al estudio geométrico elaborado en el apartado anterior, se efectúa ahora el análisis estático de las diferentes piezas y ensamblajes de la máquina.

Posteriormente, se realiza el dimensionado de piezas y pasadores según criterios de resistencia de materiales, mediante el análisis estático.

Consideraciones:

Coefficiente de seguridad: 3

Material:

Barras / Brazos: F-1150 templado y revenido

$$\sigma_F = 500 \text{ Mpa}$$

$$T_F = 300 \text{ Mpa} \quad (T_F = 0.6 * \sigma_F)$$

Pasadores: F-1140 templado y revenido

$$\sigma_F = 440 \text{ Mpa}$$

$$T_F = 264 \text{ Mpa} \quad (T_F = 0.6 * \sigma_F)$$

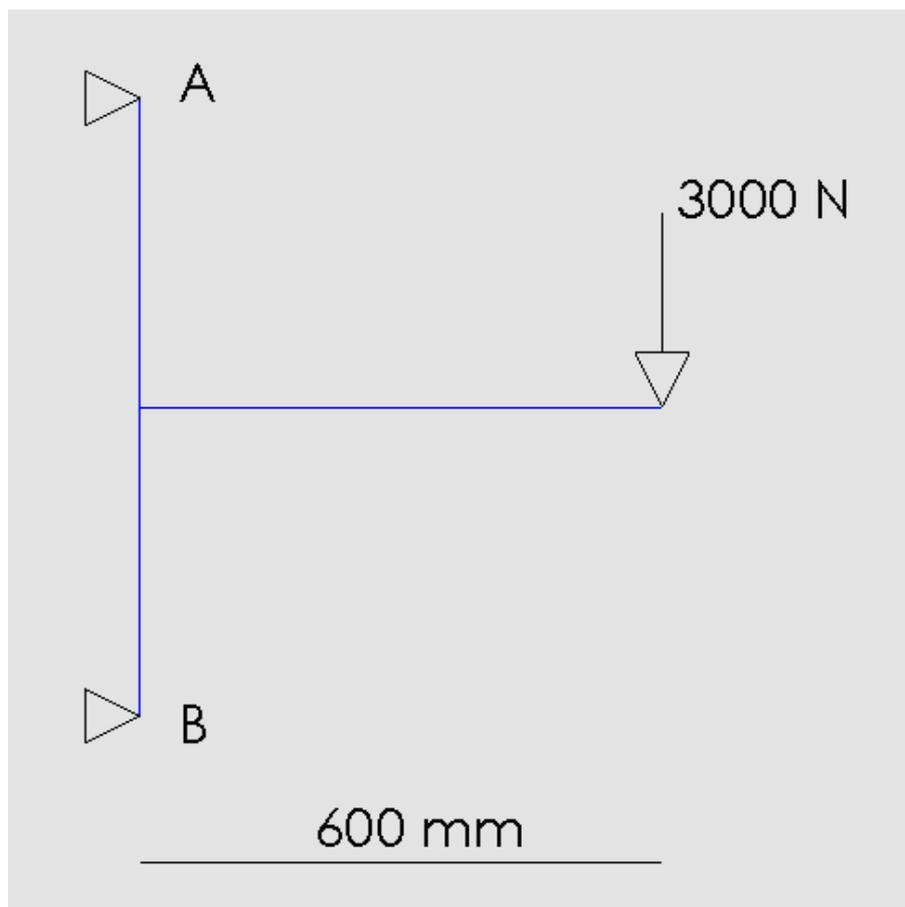
## **Cesta**

Supongo una masa de 300 Kg. (230 Kg. de carga útil más 70 Kg. como estimación de peso propio) como carga máxima.

Como la cesta es absolutamente anisótropa y su centro de gravedad (CDG) variable debido a los movimientos de los operarios en ella, me fundamento en las reducidas dimensiones de la misma para imaginar una fuerza vertical de 3000 N en su centro y perpendicular al plano horizontal.

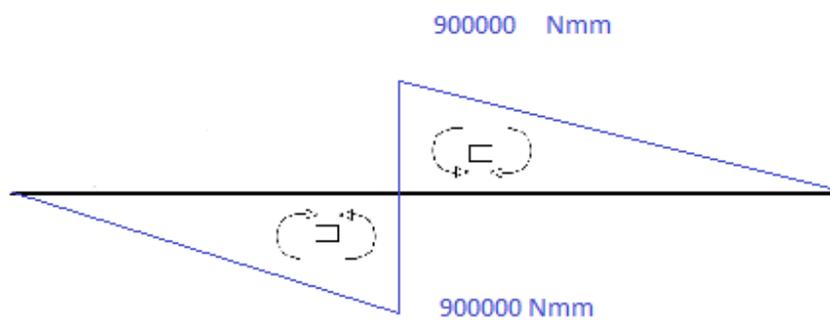
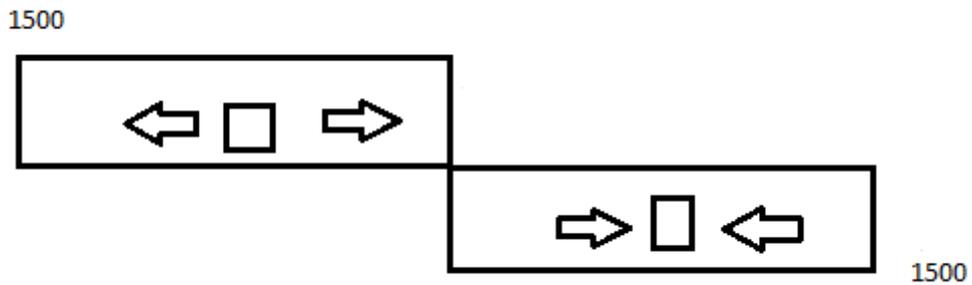
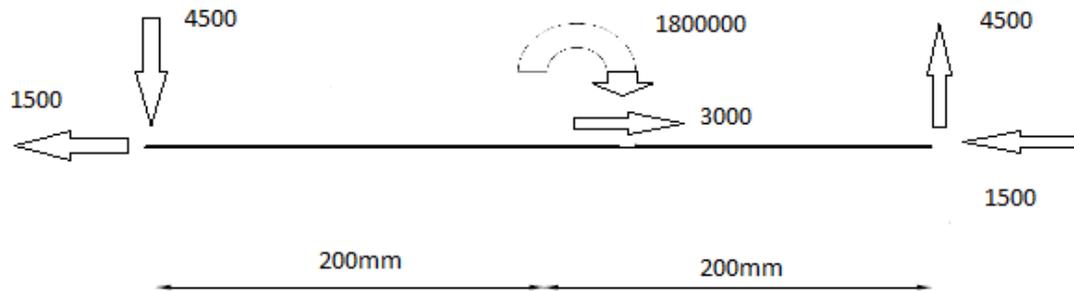
Esto se transmite como una fuerza vertical descendente de 3000 N y un momento horario  $3000 \text{ N} \cdot 0.6 \text{ m}$  sobre el CDG de las barras AB.

Simplificación realizada para el cálculo de esfuerzos sobre las barras AB



## Brazo superior

### Barras AB



Pasador A/B

$$\varnothing = \sqrt{[(F/2) * C_s] / [(\pi/4) * \tau_F]} = \sqrt{[(4744/2)*3] / [(\pi/4) * 0.6 * 440]} = 5.85\text{mm} = 6\text{mm}$$

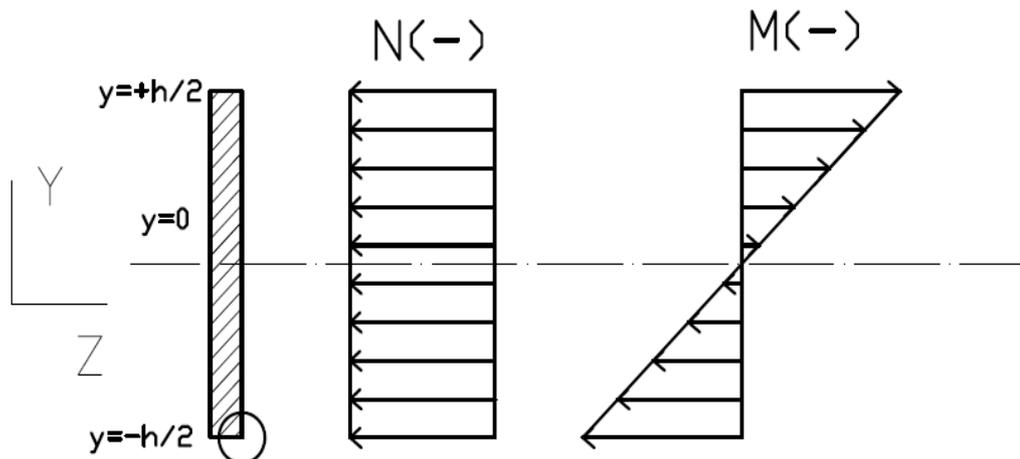
$$F_{\text{Total}} = \sqrt{4500^2 + 1500^2} = 4744 \text{ N}$$

Espesor de las barras AB

$$e = [C_s * F] / [\sigma_F * \varnothing_F] = [3*4744] / [500*6] = 4.74\text{mm} = 5\text{mm}$$

Al ser 2 placas  $e = 2.5\text{mm} / \text{placa}$

Anchura de las barras AB



$$\sigma_x = \frac{M_z}{W_z} + \frac{N}{A} \leq \frac{\sigma_y}{C_{sy}} = \sigma$$

$$M_z = 900000 \text{ Nmm}$$

$$W_z = 5 \cdot h^2 / 6$$

$$A = 5 \cdot h$$

$$N = 1500 \text{ N}$$

$$h = 82 \text{ mm}$$

### Barra AED

Diagrama - Posición +70°

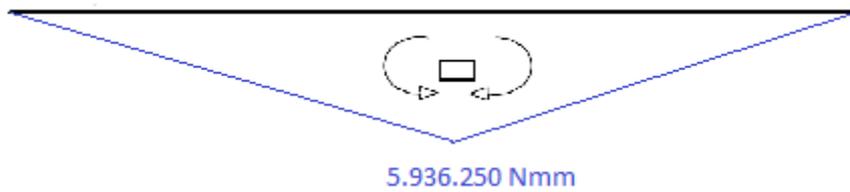
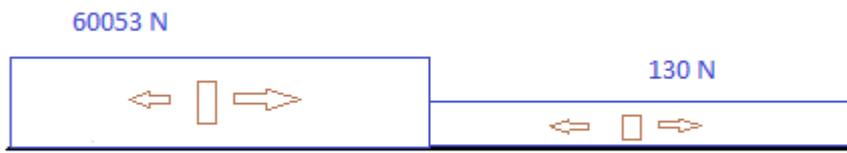
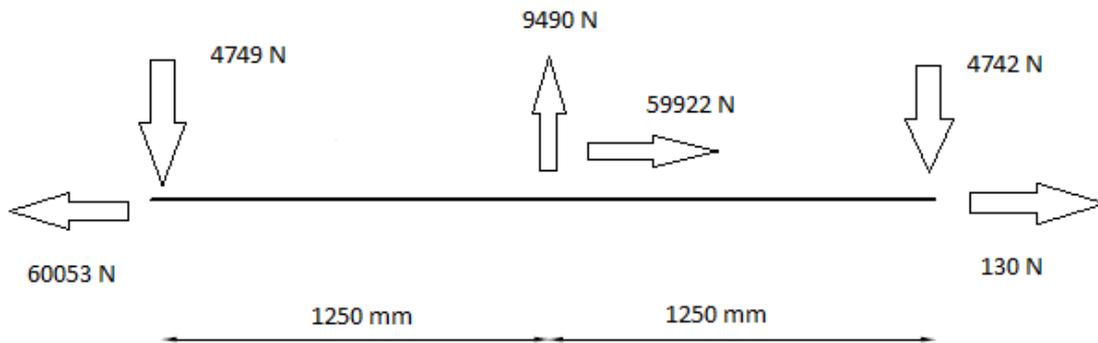
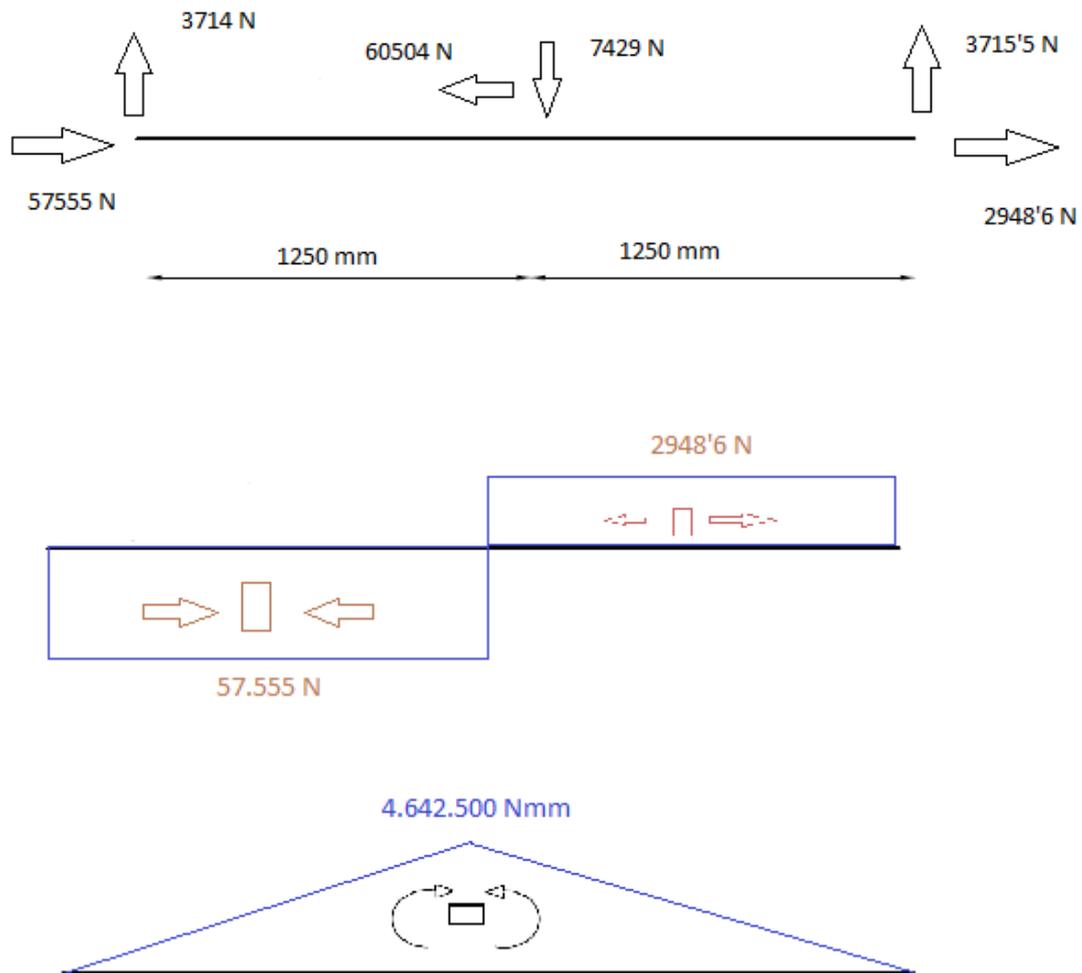


Diagrama - Posición -70°



La situación más desfavorable es +70°:  $M_z (+70^\circ) > M_z (-70^\circ)$

Pasador D

$$F=60.240 \text{ N}$$

$$\varnothing = \sqrt{[(F/2) * C_s] / [(\pi/4) * \tau_F]} = \sqrt{[(60240/2)*3] / [(\pi/4) * 0.6 * 440]} = 21 \text{ mm}$$

Pasador E

$$F=61.000 \text{ N}$$

$$\varnothing = \sqrt{[(F/2) * C_s] / [(\pi/4) * \tau_F]} = \sqrt{[(61000/2)*3] / [(\pi/4) * 0.6 * 440]} = 22 \text{ mm}$$

Pasador A

$$\varnothing = 6 \text{ mm (calculado anteriormente)}$$

Espesor de la barra AED

$$e = [C_s * F] / [\sigma_F * \varnothing_F] = [3*61000] / [500*22] = 16.66 \text{ mm}$$

Anchura de la barra AED

$$\sigma_x = \frac{M_z}{W_z} + \frac{N}{A} \leq \frac{\sigma_y}{C_{sy}} = \sigma$$

$$M_z = 5.936.250 \text{ Nmm}$$

$$W_z = 17 * h^2 / 6$$

$$A = 17 * h$$

$$N = 60053 \text{ N}$$

$$h = 124 \text{ mm}$$

## Placas E

Pasador E =  $\emptyset$  = 22 mm

Espesor de las placas E

$$e = [C_s * F] / [\sigma_F * \emptyset_F] = [3 * 61000] / [500 * 22] = 16.66 \text{ mm} \Rightarrow 18 \text{ mm}$$

e = 9 mm / placa

Anchura de las placas E

$$\sigma_x = \frac{M_z}{W_z} + \frac{N}{A} \leq \frac{\sigma_y}{C_{sy}} = \sigma$$

$$M_z = 7.507.704 \text{ Nmm}$$

$$W_z = 18 * h^2 / 6$$

$$A = 18 * h$$

$$N = 7434 \text{ N}$$

$$h = 124 \text{ mm}$$

## Barras BC

Pasador B

$$\varnothing = 6 \text{ mm}$$

Pasador C

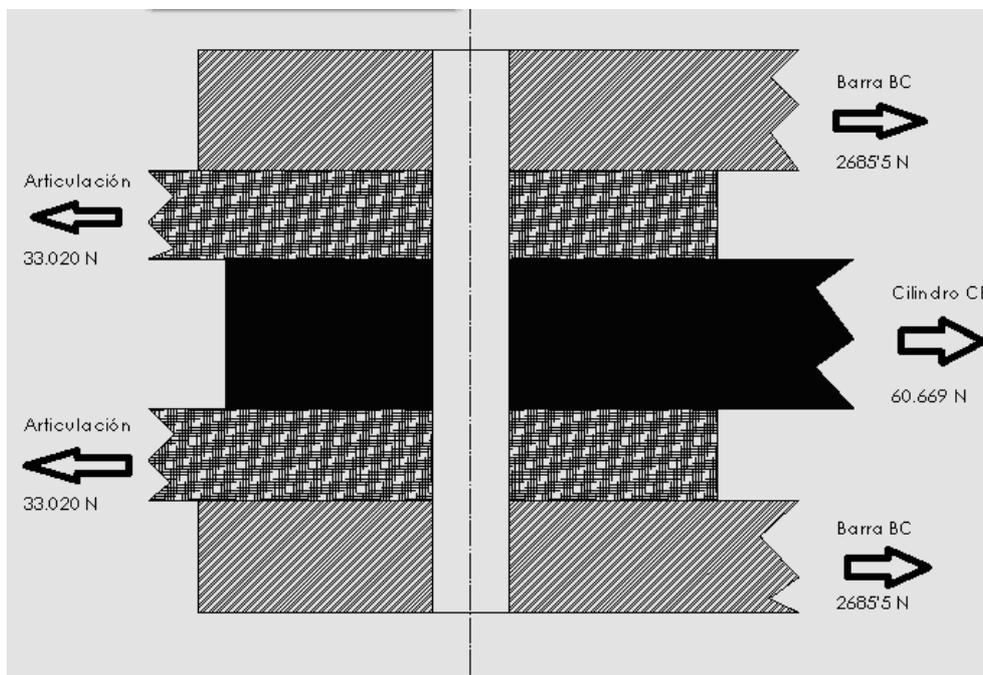
Análisis a cortadura

$$\varnothing = \sqrt{[(F/2) * C_s] / [(\pi/4) * \tau_F]} = \sqrt{[(30335)*3] / [(\pi/4) * 0.6 * 440]} = 22 \text{ mm}$$

Espesor de las barras BC

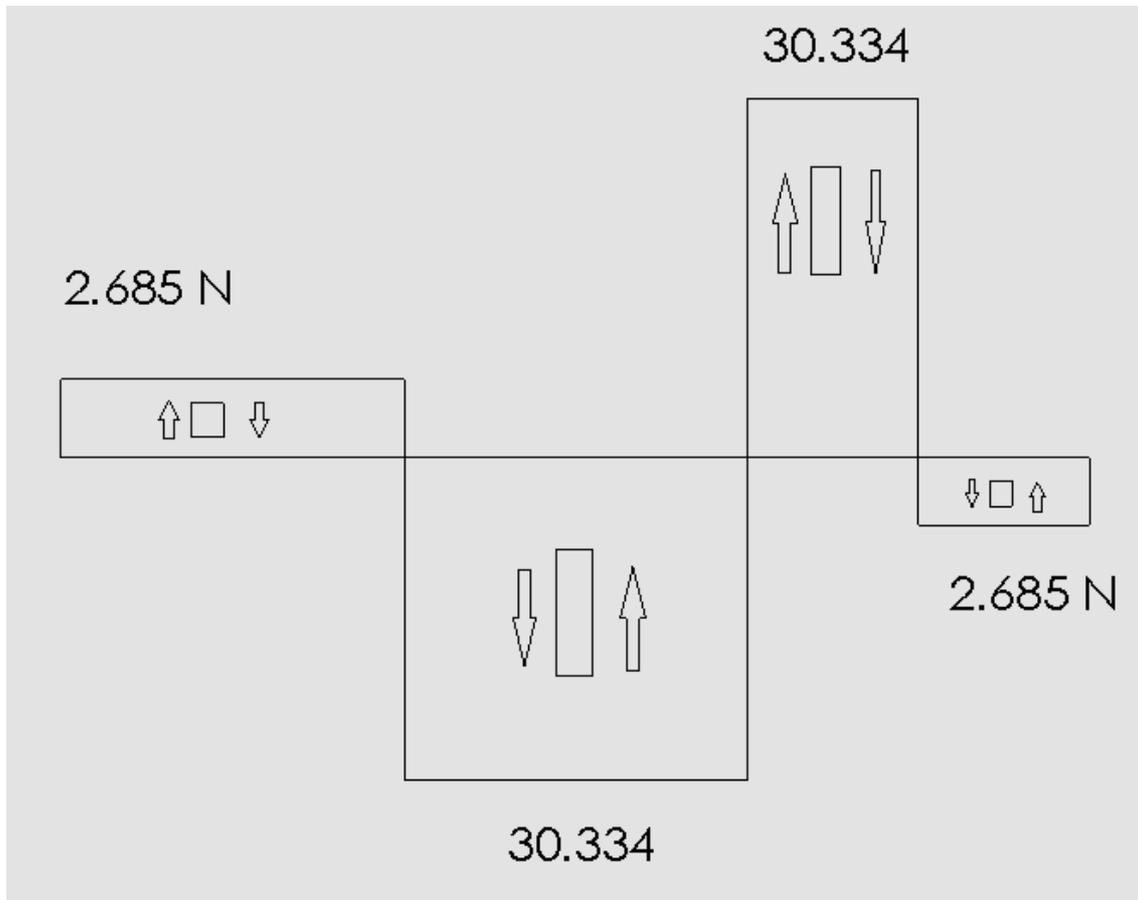
$$e = [C_s * F] / [\sigma_F * \varnothing_F] = [3*66040] / [500*22] = 18 \text{ mm} \Rightarrow 20 \text{ mm}$$

$$e = 10 \text{ mm / barra}$$



Pasador C

Análisis a cortadura del pasador C



### **Articulación superior**

*Brazo central a 0°*

Pasador F

$$\varnothing = \sqrt{[(F/2) * Cs] / [(\pi/4) * \tau_F]} = \sqrt{[(14876)*3] / [(\pi/4) * 0.6 * 440]} = 15 \text{ mm}$$

Pasador G

$$\varnothing = \sqrt{[(F/2) * Cs] / [(\pi/4) * \tau_F]} = \sqrt{[(14572)*3] / [(\pi/4) * 0.6 * 440]} = 15 \text{ mm}$$

*Brazo central a 75°*

Pasador F

$$\varnothing = \sqrt{[(F/2) * Cs] / [(\pi/4) * \tau_F]} = \sqrt{[(14876)*3] / [(\pi/4) * 0.6 * 440]} = 15 \text{ mm}$$

Pasador G

$$\varnothing = \sqrt{[(F/2) * Cs] / [(\pi/4) * \tau_F]} = \sqrt{[(16257)*3] / [(\pi/4) * 0.6 * 440]} = 16 \text{ mm}$$

Espesor de la articulación superior

$$e = [Cs * F] / [\sigma_F * \varnothing_F] = [3*33020] / [500*15] = 14 \text{ mm}$$

14 mm / placa

Diagrama de sólido libre – brazo central a  $0^\circ$

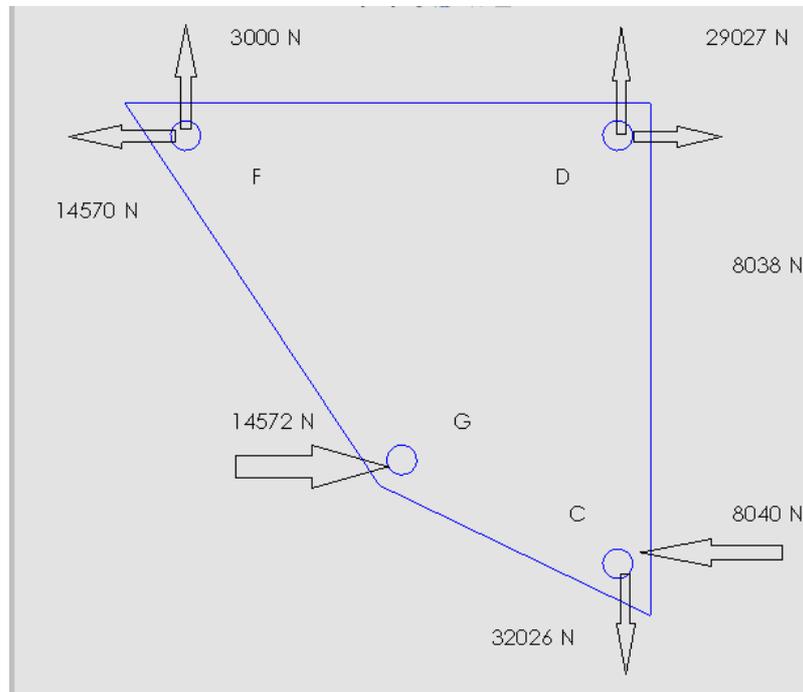
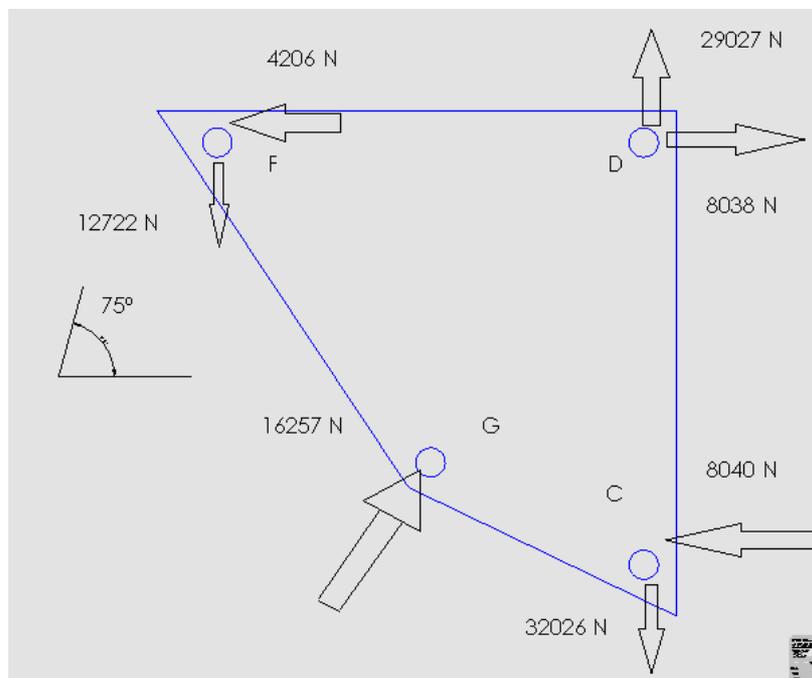


Diagrama de sólido libre – brazo central a  $75^\circ$





## **Brazo central**

Las mayores cargas se producen en la posición de 75°

Distancia I – F cuando el brazo está completamente extendido = 11.000 mm

Pasador I

$$\varnothing = \sqrt{[(F/2) * Cs] / [(\pi/4) * \tau_F]} = \sqrt{[(104789/2)*3] / [(\pi/4) * 0.6 * 440]} = 28 \text{ mm}$$

Pasador H

$$\varnothing = \sqrt{[(F/2) * Cs] / [(\pi/4) * \tau_F]} = \sqrt{[(133075/2)*3] / [(\pi/4) * 0.6 * 440]} = 32 \text{ mm}$$

Espesor de las placas H

$$e = [Cs * F] / [\sigma_F * \varnothing_F] = [3*133075/2] / [500*32] = 13 \text{ mm}$$

e = 13 mm / placa

Anchura de las placas H

$$\sigma_x = \frac{M_z}{W_z} + \frac{N}{A} \leq \frac{\sigma_y}{C_{sy}} = \sigma$$

$$M_z = 2.621.080 \text{ Nmm}$$

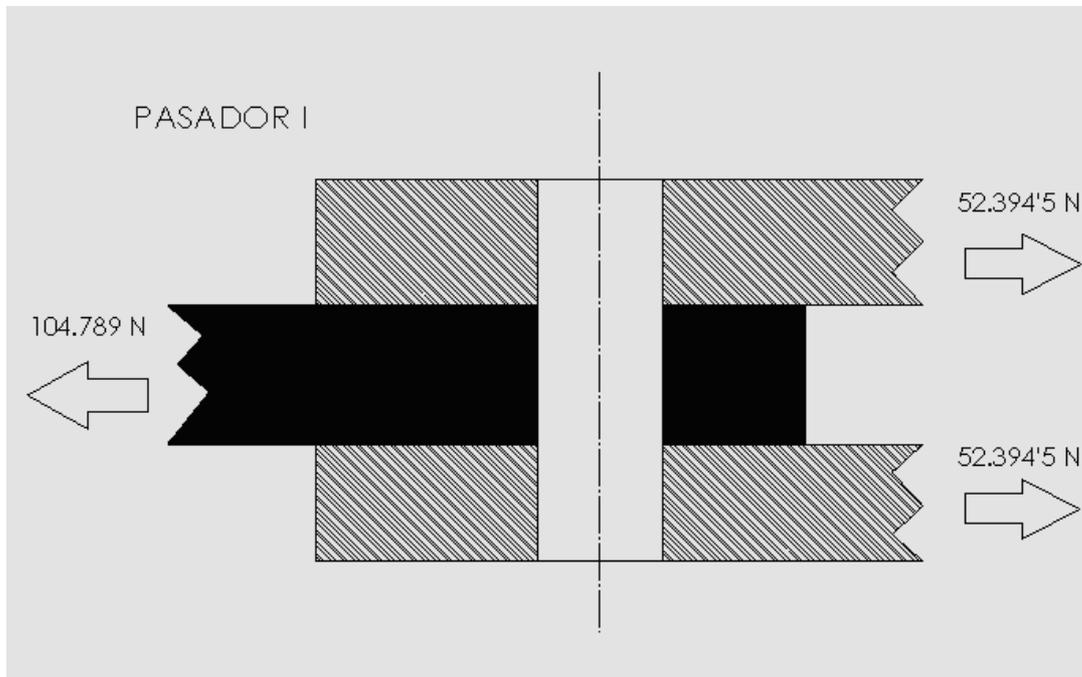
$$W_z = 17 * h^2 / 6$$

$$A = 17 * h$$

$$N = 11.554'5 \text{ N}$$

h = 86 / placa mm

Pasador I



Modelo empleado para el cálculo de placas H

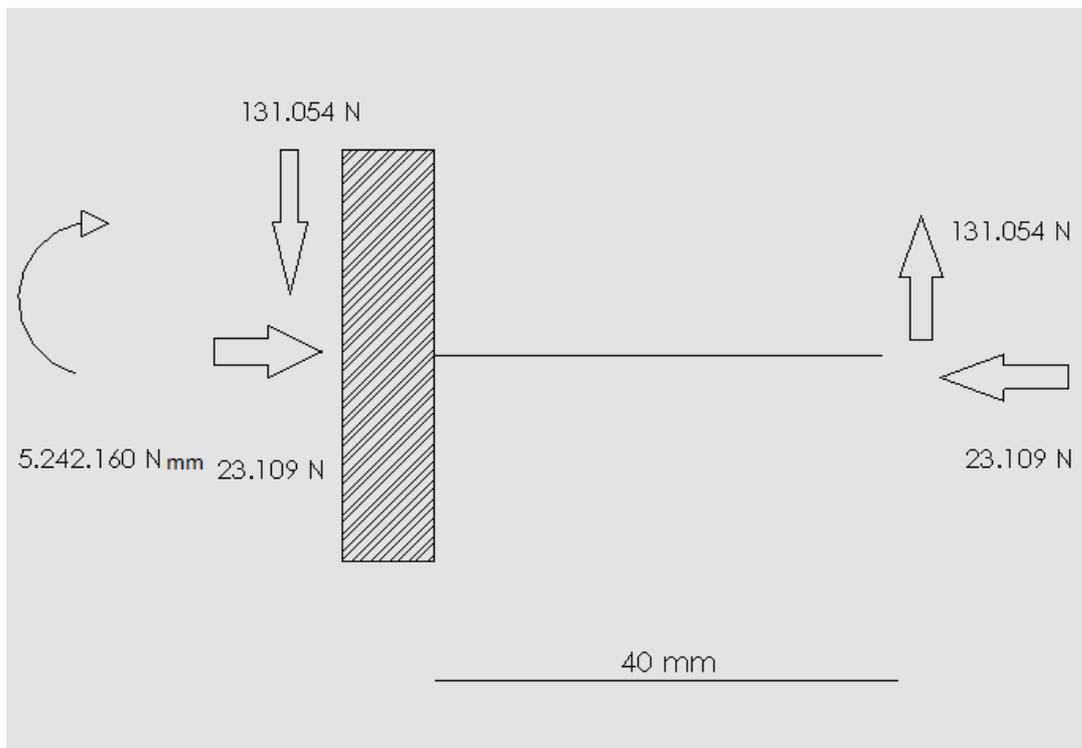


Diagrama de sólido libre – 75° extendido

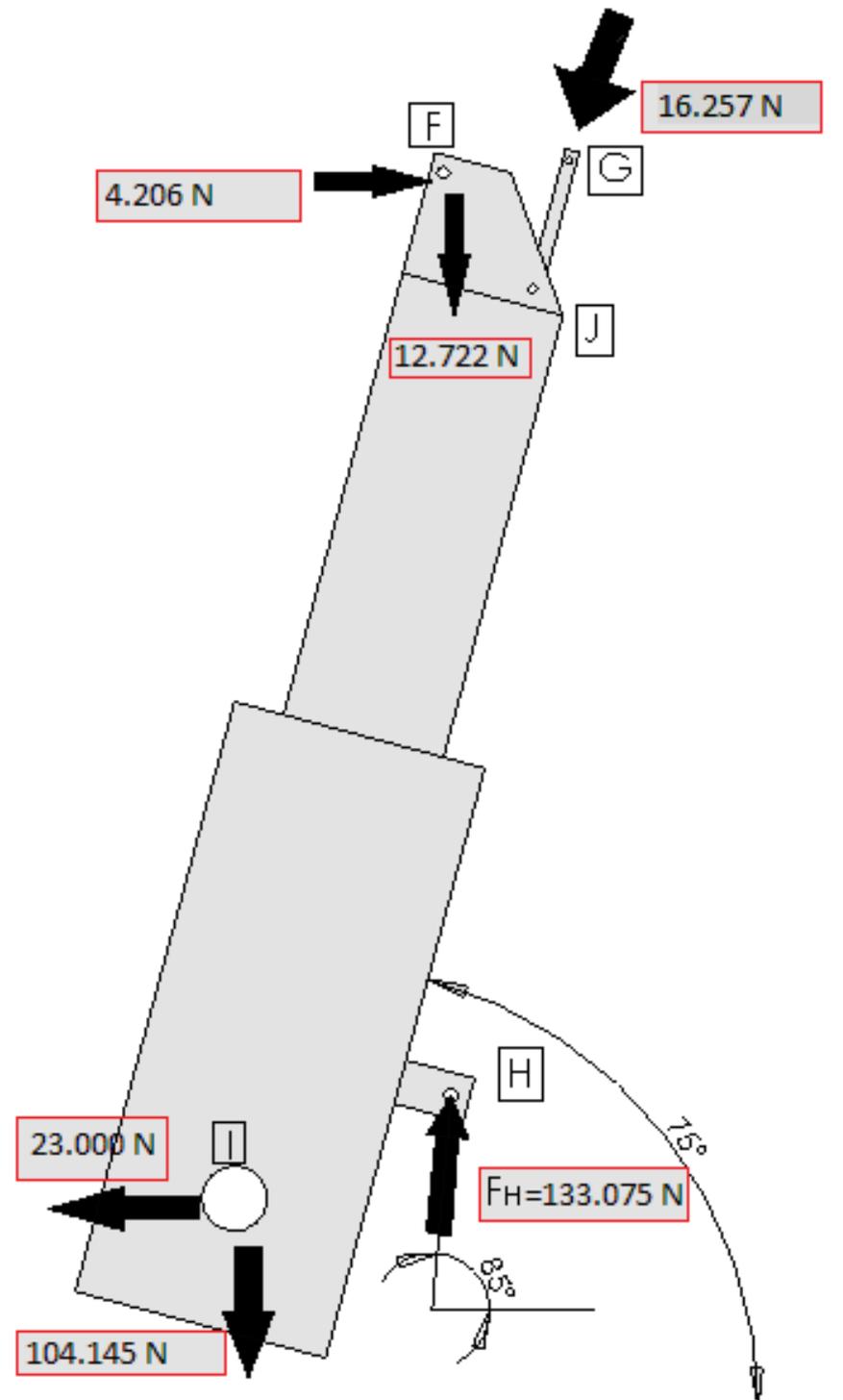
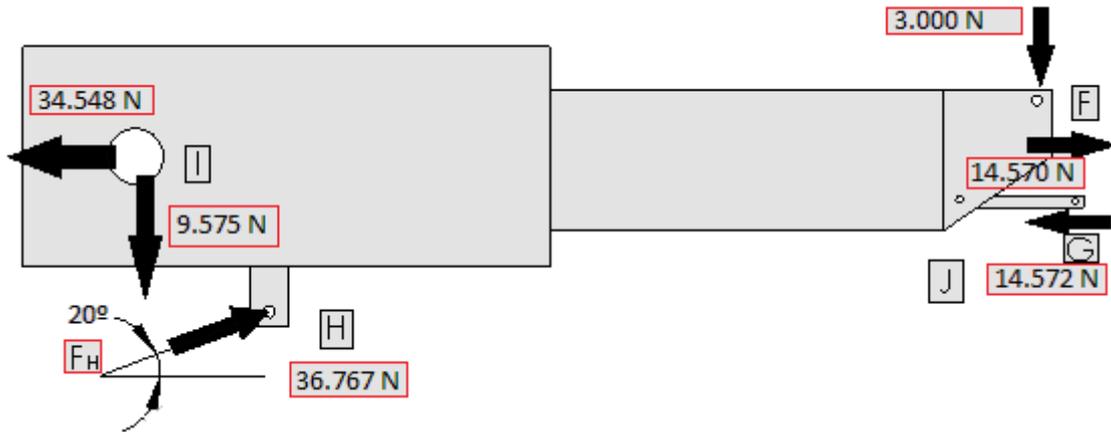


Diagrama de sólido libre – 0° extendido



Como puede observarse en el diagrama de sólido libre del brazo extendido a 0°, la resultante de las fuerzas horizontales es prácticamente 0 N (2 N, en concreto). Esto indica que el cálculo hasta este punto es lógico, ya que la carga inicial de la cual parte todo el cálculo, es únicamente vertical.

La resultante en la posición más desfavorable (extendido a 75°) es de 27.456.915 N, que será la fuerza que deberá ejercer el cilindro interior.

### Mástil

Diagrama de sólido libre – Mástil completamente extendido y brazo central horizontal extendido

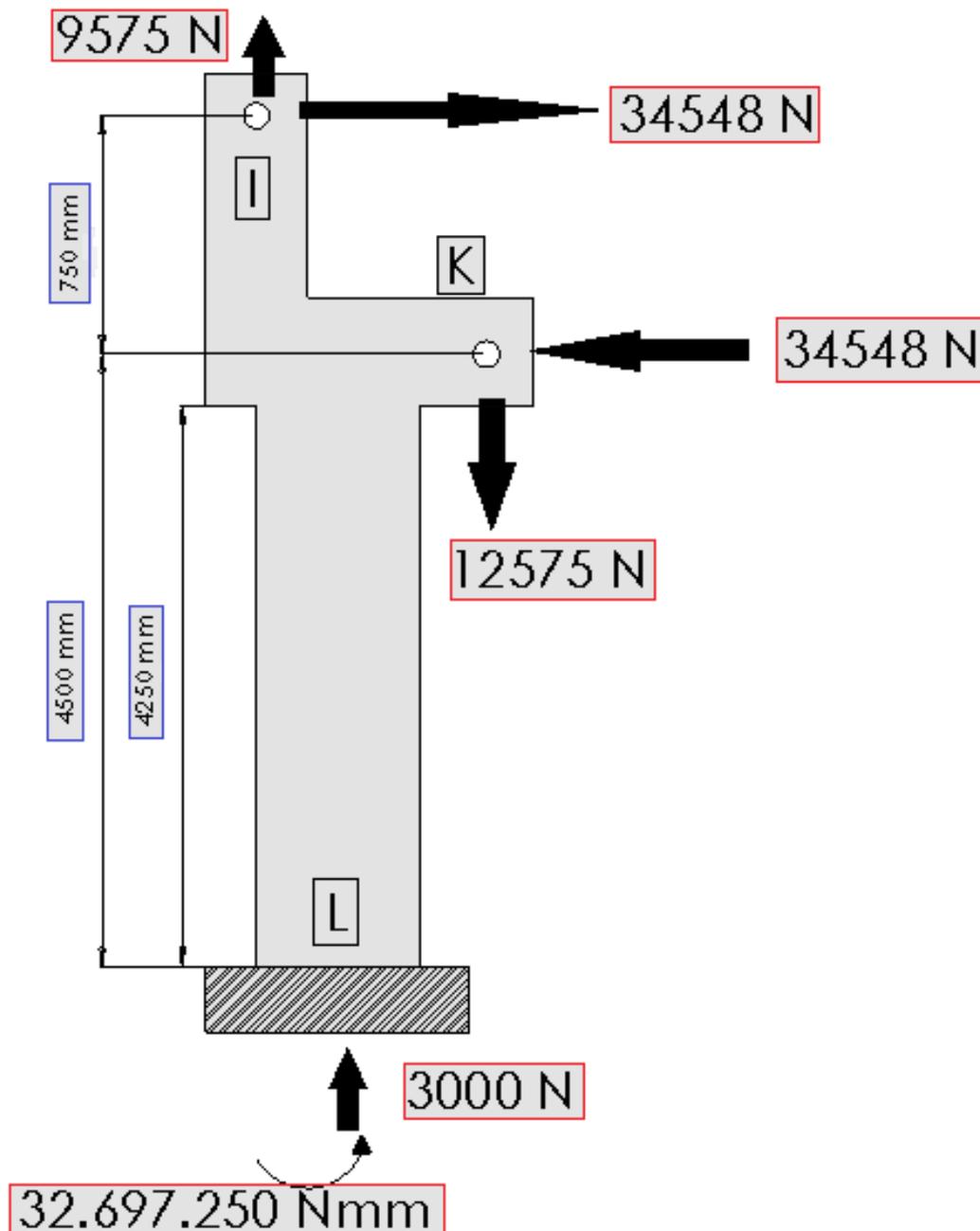
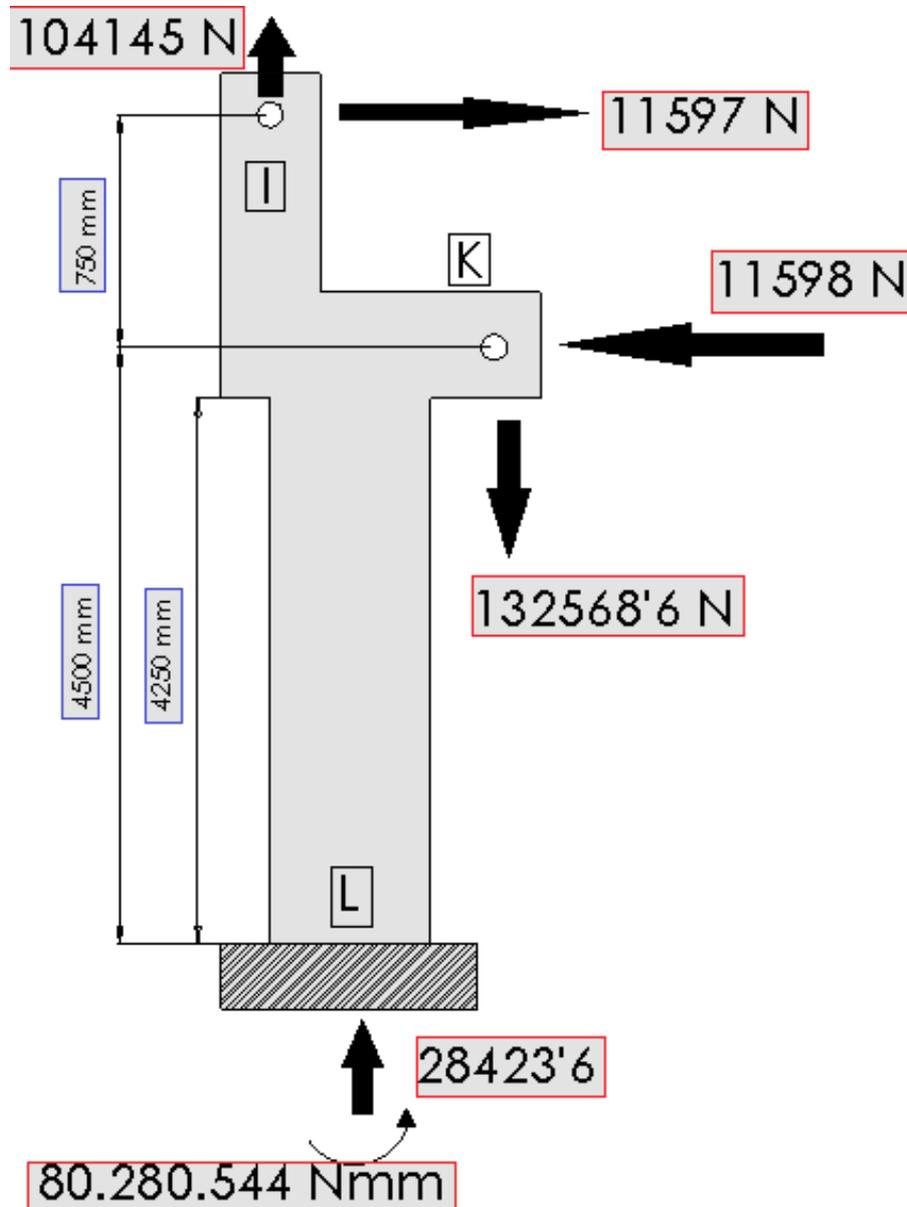


Diagrama de sólido libre – Mástil completamente extendido y brazo central a 75°



Como puede apreciarse, ésta es la posición más desfavorable

El mástil ha sido diseñado directamente en SolidWorks a partir de este croquis

Pasador K

$$\varnothing = \sqrt{[(F/2) * C_s] / [(\pi/4) * \tau_F]} = \sqrt{[(133075/2) * 3] / [(\pi/4) * 0.6 * 440]} = 32 \text{ mm}$$

### **Dimensionado de cilindros hidráulicos**

\*Tabla 1: Al final de este apartado – pág. 115

#### *Cilindro hidráulico CE*

Fabricante: Cilcoil, serie CR

Carrera = 615 mm

$F_c = 61.000 \text{ N} \Rightarrow$  Tabla 1  $\Rightarrow \varnothing$  Pistón = 100 mm

Vástago  $\Rightarrow L_p = C \cdot \beta = 615 \cdot 2 = 1230 \text{ mm} \Rightarrow \varnothing$  Vástago = 70 mm

$P = F/S_1 = 6100 \text{ Kp} / 78'5 \text{ cm}^2 = 77 \text{ bar}$

#### *Cilindro hidráulico JG*

Fabricante: Cilcoil, serie CR

Carrera = 362 mm

$F_c = 17.000 \text{ N} \Rightarrow$  Tabla 1  $\Rightarrow \varnothing$  Pistón = 40 mm

Vástago  $\Rightarrow L_p = C \cdot \beta = 362 \text{ mm} \cdot 2 = 724 \text{ mm} \Rightarrow \varnothing$  Vástago = 28 mm

$P = F/S_1 = 1700 \text{ kp} / 12.56 \text{ cm}^2 = 135'35 \text{ bar}$

#### *Cilindro hidráulico HK*

Fabricante: Cilcoil, serie CR

Carrera = 1.050 mm

$F_c = 133.075 \text{ N} \Rightarrow$  Tabla 1  $\Rightarrow \varnothing$  Pistón = 125 mm

Vástago  $\Rightarrow L_p = C \cdot \beta = 1050 \text{ mm} \cdot 2 = 2100 \text{ mm} \Rightarrow \varnothing$  Vástago = 110 mm

$P = F/S_1 = 13307 \text{ kp} / 122'66 \text{ cm}^2 = 108'47 \text{ bar}$

### *Cilindro hidráulico IHF*

Fabricante: Cilcoil, serie CR

Carrera = 4.000 mm

$F_c = 28.000 \text{ N} \Rightarrow$  Tabla 1  $\Rightarrow \varnothing$  Pistón = 50 mm

Vástago  $\Rightarrow L_p = C * \beta = 4000 \text{ mm} * 1'5 = 6000 \text{ mm} \Rightarrow \varnothing$  Vástago = 90 mm

Como  $\varnothing$  Vástago  $>$   $\varnothing$  Pistón = imposible  $\Rightarrow$  Escojo  $\varnothing$  Pistón 125 mm

$P = F/S_1 = 2800 \text{ kp} / 122'66 \text{ cm}^2 = 22'82 \text{ bar}$

### *Cilindro – mástil IKL*

Se trata de dos cilindros extensibles formados por 5 camisas, respectivamente.

Carrera = 4.250 mm

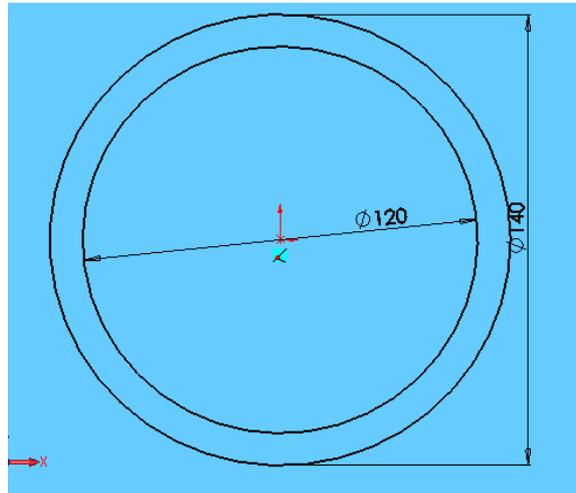
$F_c = 30.000 \text{ N}$

Como puede observarse, los datos del mismo son muy similares al anterior (cilindro hidráulico IHF), por lo que escogeré el modelo inmediatamente superior como partida de base.

Al igual que en el caso anterior, el mástil debe ejercer una función estructural.

Diseño:

Camisa superior (dimensión mínima):



El resto del mástil se ha comprobado estructuralmente mediante SolidWorks.

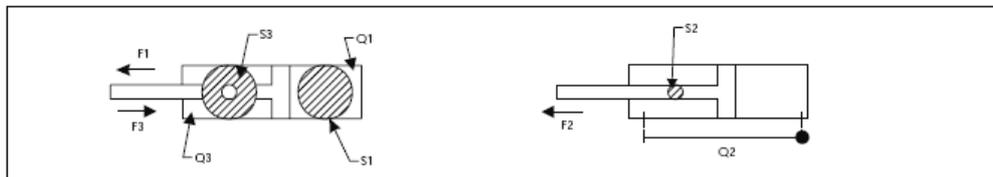
Bomba hidráulica necesaria  $\Rightarrow P = 140$  bar

Documentos para el cálculo de cilindros hidráulicos – CILCOIL

• DETERMINACION DEL CILINDRO •  
• DETERMINATION OF THE CYLINDER •

Piston	Vástago	AREAS			Empuje Min	Empuje Max	Fuerza Diferencial	Fuerza Tracción	Caudal Salida	Caudal Diferencial	Caudal Entrada
Bore	Rod	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	Push Min	Push Max	Force Regen.	Force Pull	Flow Out	Flow Regen.	Flow In
Δ PISTÓN	Δ VTGO	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	F <sub>1</sub> (MIN)	F <sub>1</sub> (MAX)	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>
mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	kN	kN	kN	kN	l/min	l/min	l/min
25	14	4,91	1,54	3,37	0,74	7,85	2,46	5,39	2,9	0,92	2,0
	18		2,54	2,36			4,07	3,78		1,53	1,4
32	18	8,04	2,54	5,50	1,21	12,86144	4,07	6,79	4,8	1,53	3,3
	22		3,80	4,24			6,08	6,78		2,28	2,5
40	22	12,56	3,80	8,76	1,88	20,096	6,08	14,02	7,5	2,28	5,3
	28		6,15	6,41			9,85	10,25		3,69	3,8
50	28	19,63	6,15	13,47	2,94	31,4	9,85	21,55	11,8	3,69	8,1
	36		10,17	9,45			16,28	15,12		6,10	5,7
63	36	31,16	10,17	20,98	4,67	49,85064	16,28	33,57	18,7	6,10	12,6
	45		15,90	15,28			25,43	24,42		9,54	9,2
80	45	50,24	15,90	34,34	7,54	80,384	25,43	54,95	30,1	9,54	20,6
	56		24,62	25,62			39,39	41,00		14,77	15,4
100	56	78,50	24,62	53,88	11,78	125,6	39,39	86,21	47,1	14,77	32,3
	70		38,47	40,04			61,54	64,06		23,08	24,0
125	70	122,66	38,47	84,19	18,40	196,25	61,54	134,71	73,6	23,08	50,5
	90		63,59	59,07			101,74	94,51		38,15	35,4
160	90	200,96	63,59	137,38	30,14	321,536	101,74	219,80	120,6	38,15	82,4
	110		94,99	105,98			151,98	169,56		56,99	63,6
200	110	314,00	94,99	219,02	47,10	502,4	151,98	350,42	188,4	56,99	131,4
	140		153,86	160,14			246,18	256,22		92,32	96,1
250	140	490,63	153,86	336,77	73,59	785	246,18	538,82	294,4	92,32	202,1
	180		254,34	236,29			406,94	378,06		152,60	141,8
320	180	803,84	254,34	549,60	120,58	1286,144	406,94	879,20	482,3	152,60	329,7
	220		379,94	423,90			607,90	678,24		227,96	254,3

-Tabla1-



Fórmulas empleadas

$$F_1 (kN) = \frac{A_1 (cm^2) * p (bar)}{100}$$

$$Q_1 (l/min) = 6 * v (m/s) * S_1 (cm^2)$$

$$F_2 (kN) = \frac{A_2 (cm^2) * p (bar)}{100}$$

$$Q_2 (l/min) = 6 * v (m/s) * S_2 (cm^2)$$

$$F_3 (kN) = F_1 (kN) - F_2 (kN)$$

$$Q_3 (l/min) = 6 * v (m/s) * S_3 (cm^2)$$

Las fuerzas calculadas son teóricas, no se considera la fricción. La velocidad empleada para el cálculo del caudal es de 0.1 m/s y es una velocidad de ejemplo.

The calculated force sare theoretical. Friction has not been taken into account. The speed used for calculating the flow is 0.1m/s , which is just a sample speed.

• EJEMPLO DE CÁLCULO •

Supongamos que queremos un cilindro ISO 6020/1 tipo MF2 con rótula ISO 6982 que efectúe una fuerza de empuje  $F = 150 \text{ kN} \approx 15300 \text{ kp}$ , y que desarrolle una carrera de 1000 mm. de longitud.

Con la tabla de fuerzas ( tabla 1) comparamos a que dimensiones se desarrolla la fuerza de 150 kN, esta estaría en un cilindro de diámetro  $\varnothing 125$ , el cual tiene vástagos de  $\varnothing 70$  y  $\varnothing 90$ , y que necesita una presión

$$\text{teórica de } p = \frac{F_1 (\text{kp})}{S_1 (\text{cm}^2)} = 124,766 \text{ bar}.$$

Ahora se hará la comprobación de que vástago se necesita para poder aguantar el pandeo según el tipo de fijación del cilindro a la máquina, calculamos la L (longitud entre fijaciones),

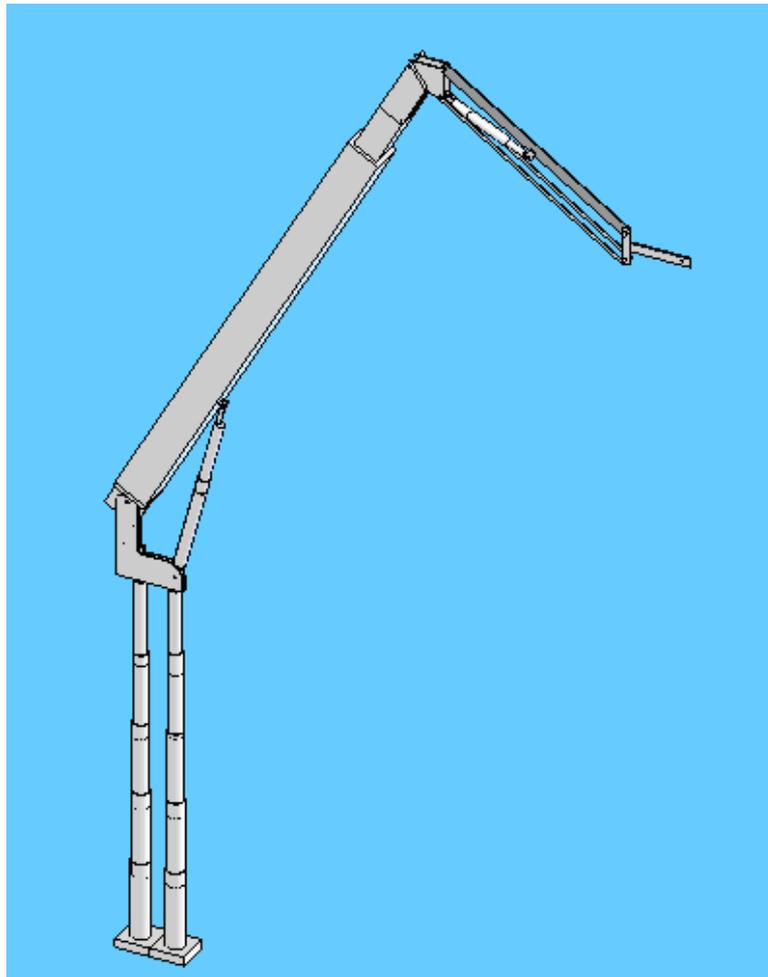
$L = ZF + Carrera + CH = 357 + 1000 + 140 = 1497 \text{ mm}$ , en donde las cotas ZF y CH se obtienen de las tablas interiores de dimensiones del cilindro 125. Con esta medida sacamos la longitud virtual de pandeo ( $L_k$ ),  $L_k = 0.7L$  (Según fig. 1)  $= 0.7 * 1497 = 1047.9 \text{ mm} \approx 1.1 \text{ m}$ .

Nos situamos en la gráfica (fig.2) y con  $L_k = 1.1 \text{ m}$ , un coeficiente de seguridad 3 y la Fuerza de empuje  $F = 15300 \text{ kp}$ , hallamos que el mínimo vástago para que no sufra rotura por pandeo debe ser de  $\varnothing 36 \text{ mm}$ , como anteriormente nos ha salido  $\varnothing 70 \text{ mm}$ . y  $\varnothing 90 \text{ mm}$ ., utilizamos el vástago más pequeño aun estando este sobredimensionado.

## **4.- Análisis mecánico - SolidWorks 2010**

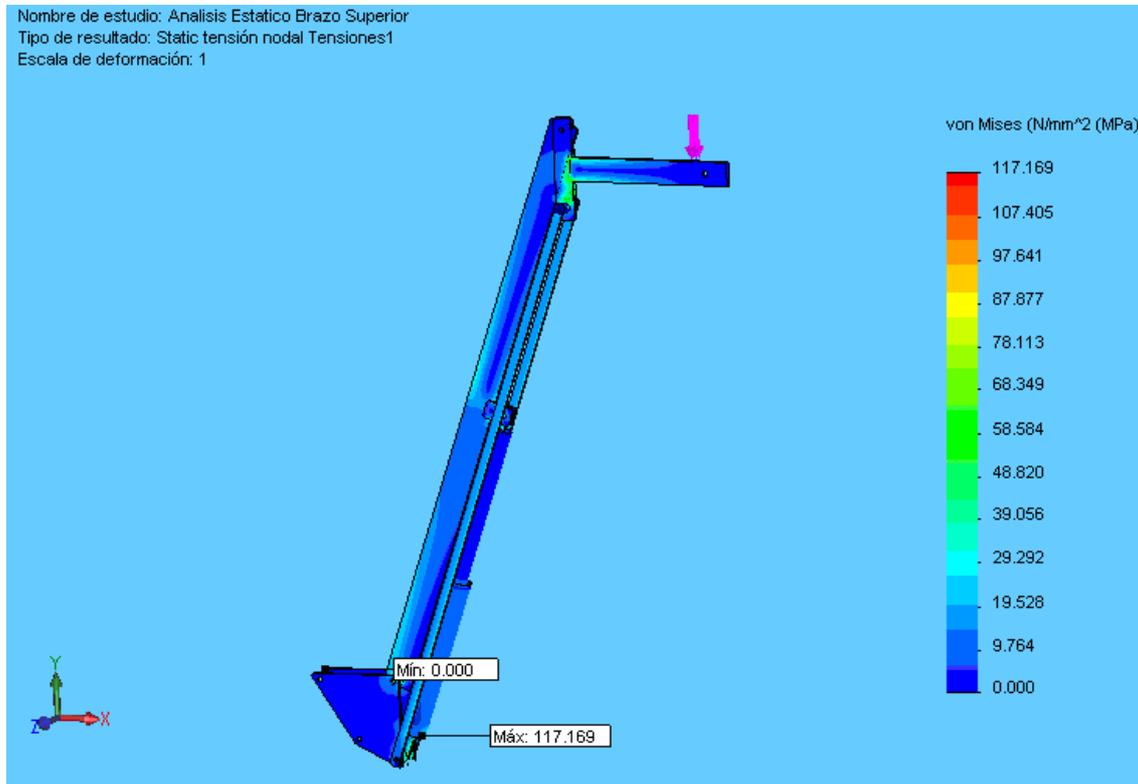
En este apartado se describe el análisis mecánico de los ensamblajes en sus posiciones más desfavorables, calculadas en el capítulo previo.

Partiendo del predimensionado realizado en el apartado anterior, se han modelado y ensamblado las diferentes piezas hasta completar la plataforma elevadora. Algunas han visto modificada su sección, ya que SolidWorks ha calculado concentraciones de tensiones o desplazamientos no tenidos en cuenta anteriormente. Un claro ejemplo de ello son los redondeos en las piezas que pueden verse en las capturas de este apartado, así como los refuerzos que han sido necesarios para cumplir con el requisito de  $C_s$  igual a 3 en general y de “no plastificación” en situaciones particulares.



## Brazo superior

### Tensiones

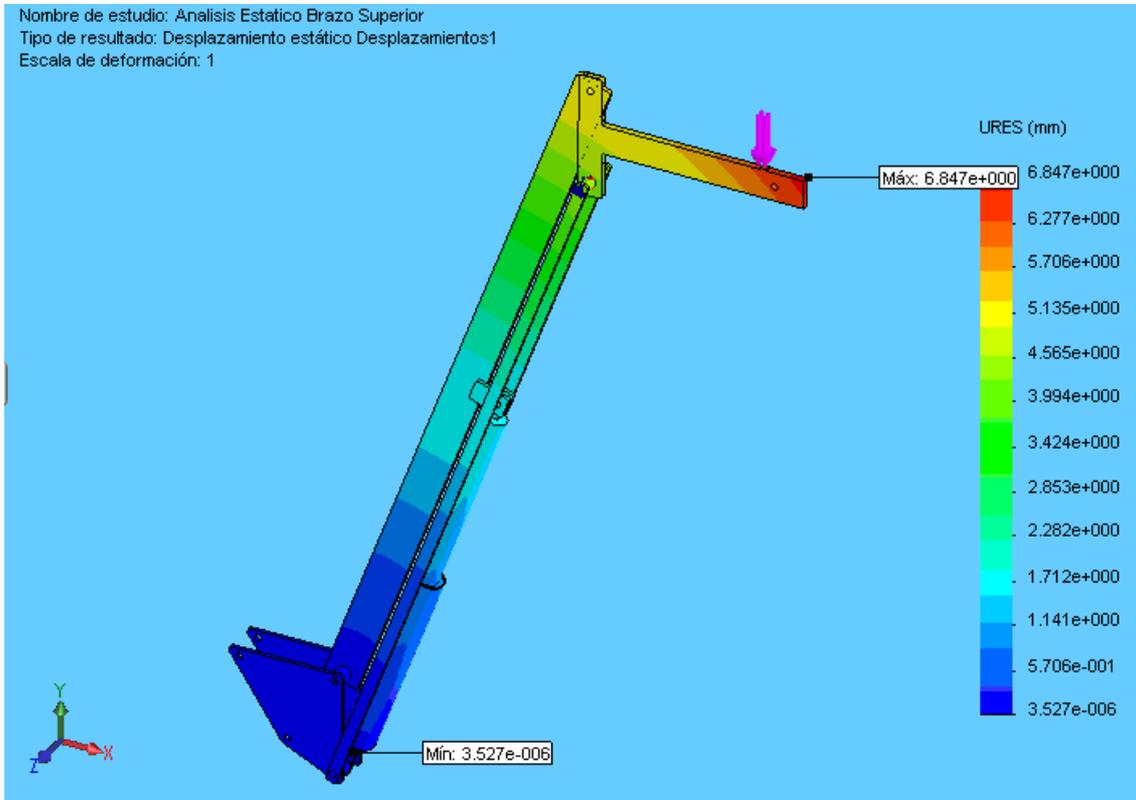


Los valores de la tensión son razonables.

Puede observarse como la zona de mayor tensión se localiza en la tapa de la camisa del cilindro CE. Como se verá en las capturas correspondientes al Cs, ha sido necesario realizar un refuerzo que garantizara un valor aceptable.

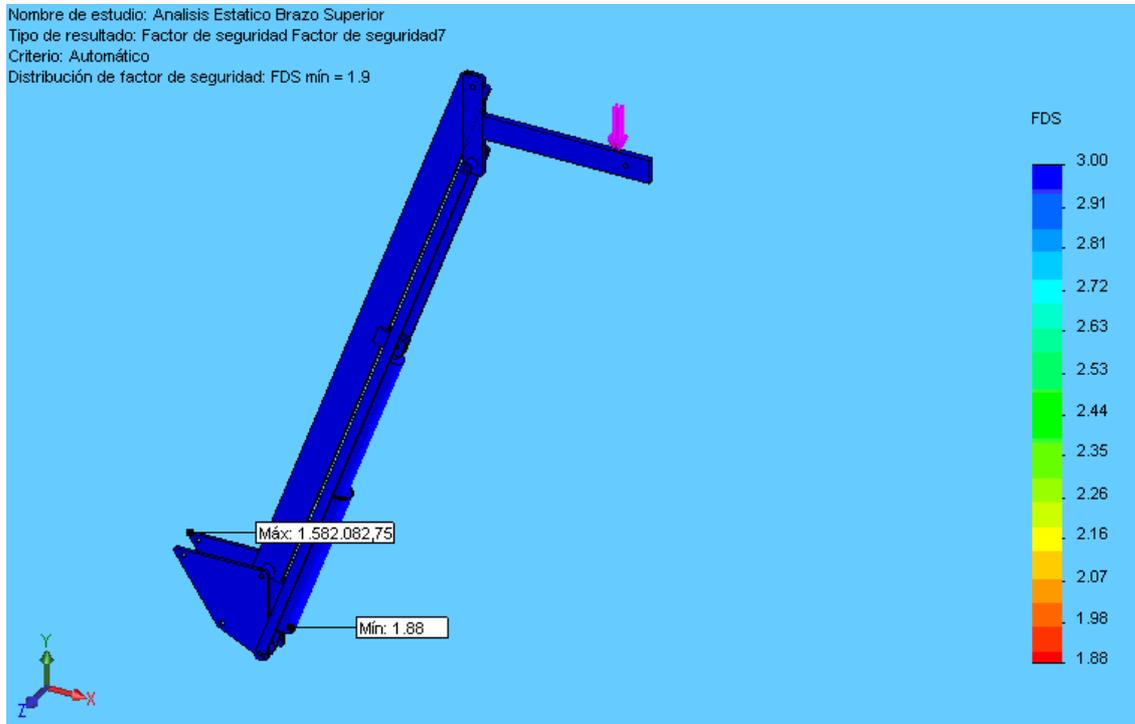
Otra zona con un valor de tensión reseñable se encuentra en las barras AB. Esto es debido al cambio de sección entre la barra horizontal que simula la cesta y estas mismas barras. Existe un refuerzo interior cuya misión es suavizar este cambio de sección y proporcionar un Cs y valor de tensión adecuados.

## Desplazamientos



La gráfica de desplazamientos mantiene una distribución lógica, con un valor máximo menor de 7 mm, perfectamente asumible.

## Coeficiente de Seguridad

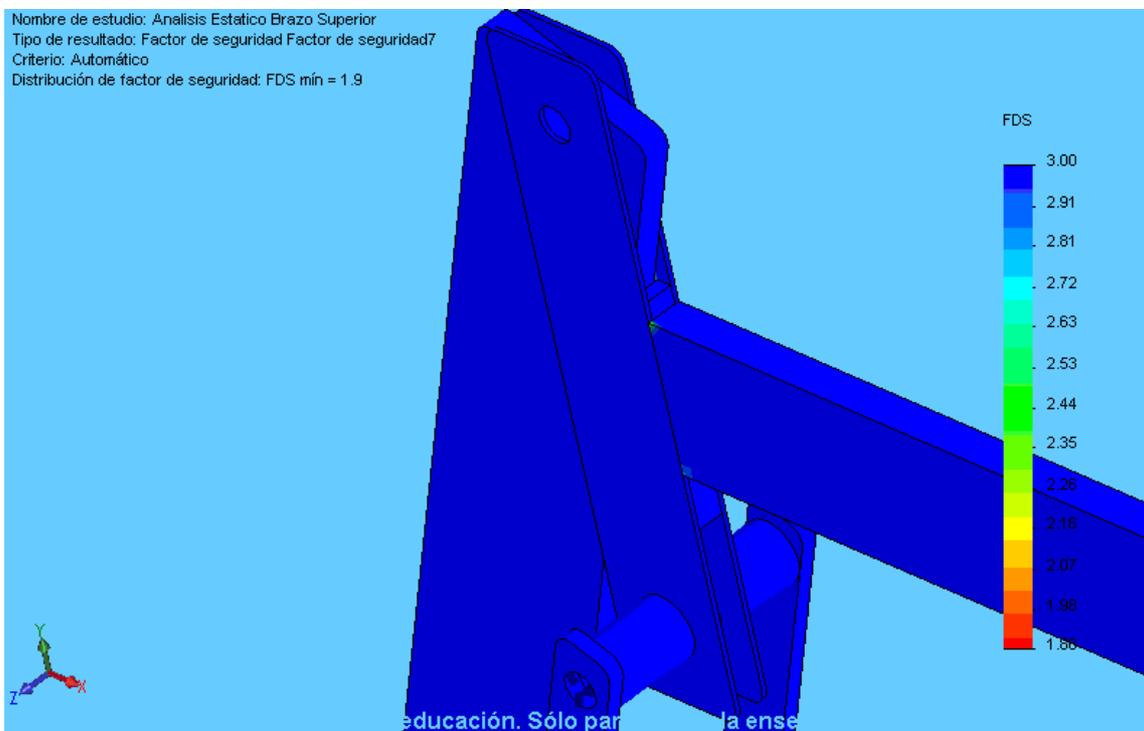
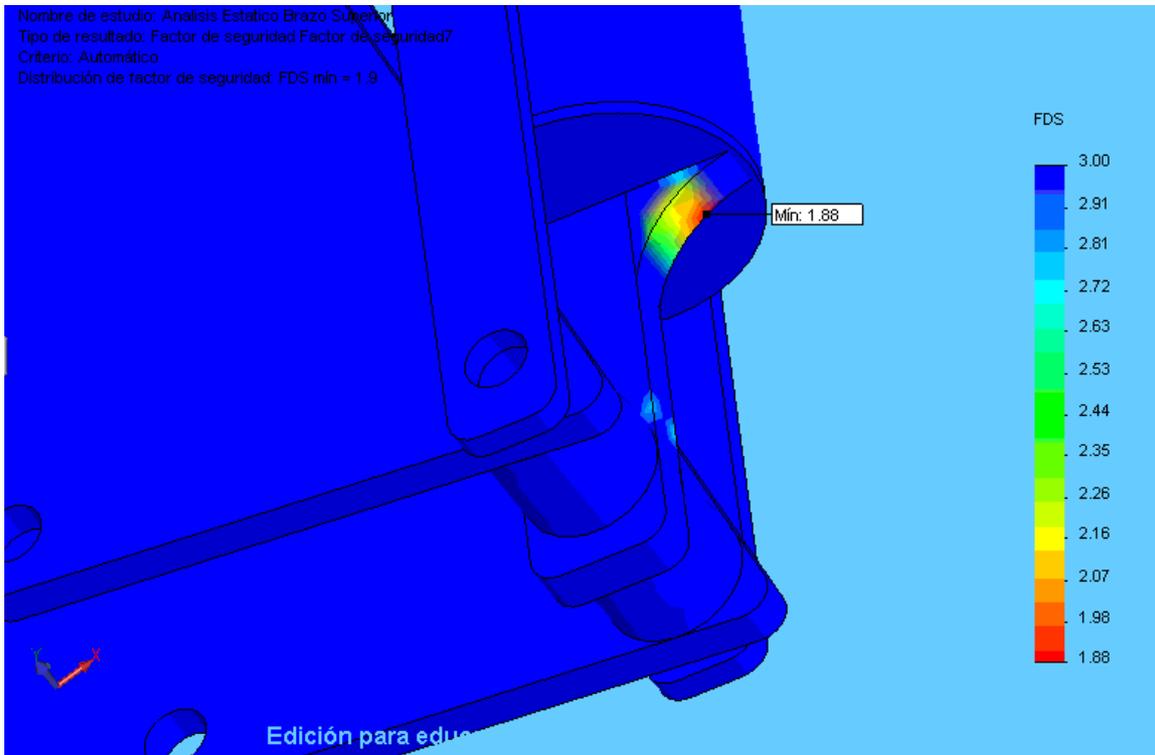


El brazo superior cumple con la exigencia de Coeficiente de seguridad 3.

Existen dos zonas localizadas donde este factor es menor del requerido debido a concentración de tensiones, por lo que son reforzadas hasta alcanzar un valor aceptable (Cs mayor o igual a 1.9). Éstas son reflejadas en las siguientes capturas de detalle.

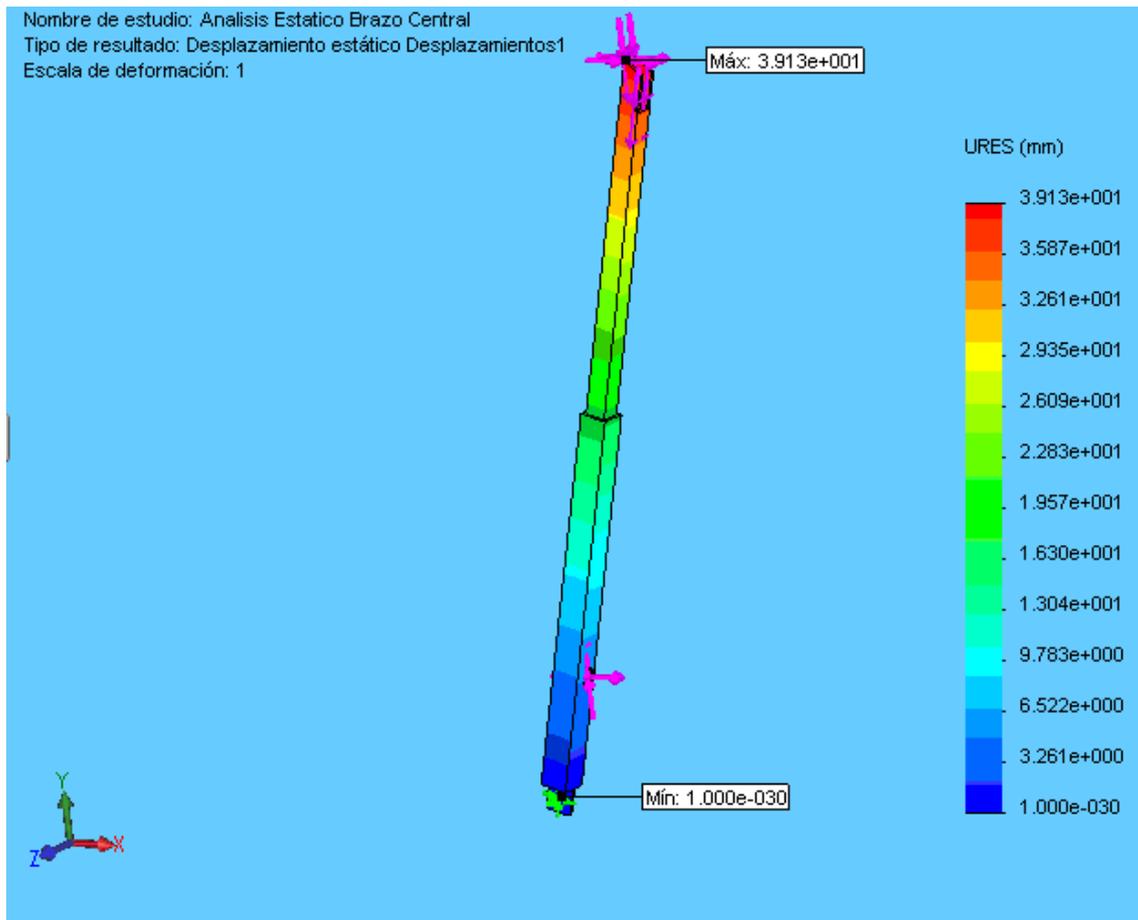
En la primera, se observa el refuerzo sobre la tapa de camisa del cilindro y la distribución del Cs hasta alcanzar su valor mínimo.

En la segunda, el refuerzo interior para suavizar el cambio de sección entre la cesta y las barras AB. Las zonas verdes indican el menor Cs, reflejo de la concentración de tensiones que sufre esta zona



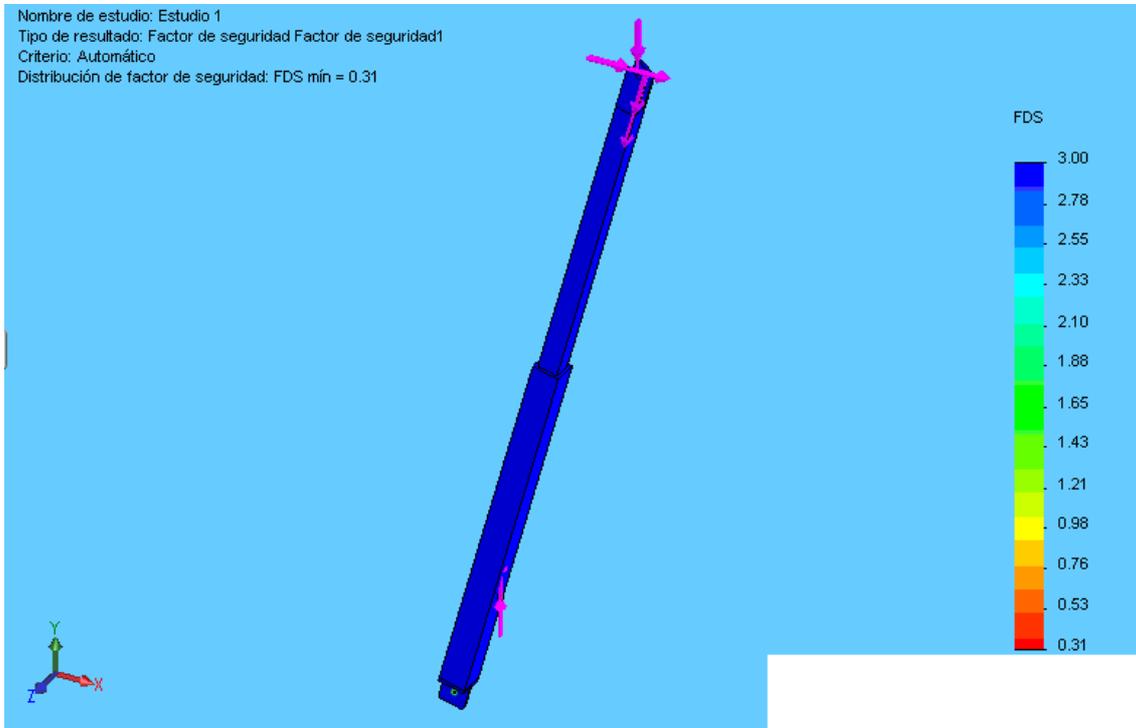
## Brazo central

### Desplazamientos



La gráfica de desplazamientos muestra un valor máximo de 39'13 mm, lo cual es razonable teniendo en cuenta la longitud del brazo central ( $d_{IF} = 11$  m)

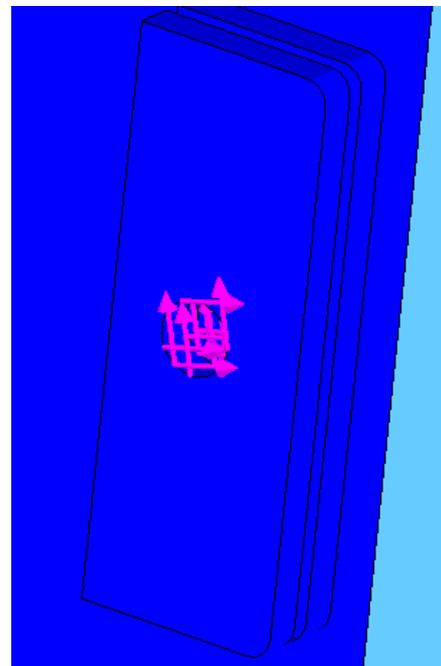
## Coeficiente de Seguridad



La gráfica muestra una distribución del Cs esperada según el diseño.

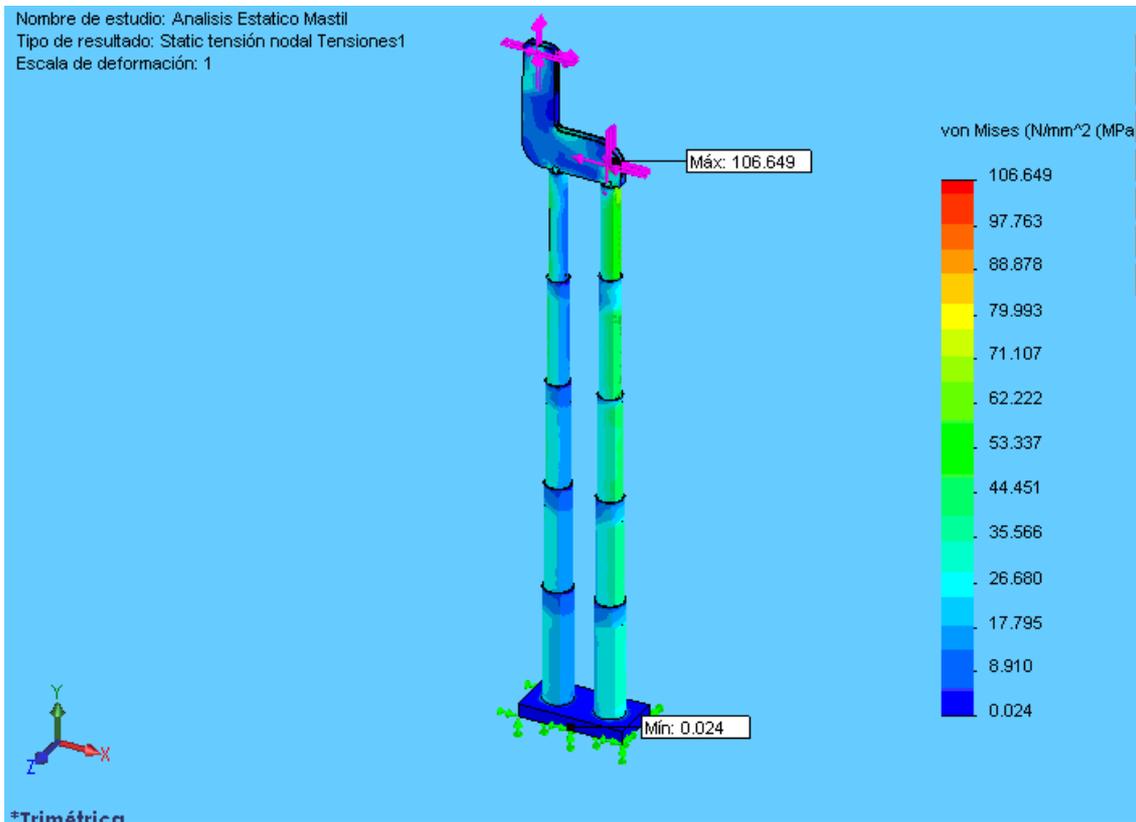
La zona inferior del brazo (pasador I) muestra unos valores inferiores ( $C_s = 3$ ), debidos a las condiciones de apoyo realizadas para el correcto funcionamiento del modelo: Restricción del movimiento y giro en los tres ejes en el pasador I.

A la derecha, detalle del coeficiente de seguridad y actuación de la fuerza sobre las placas H.



## Mástil

### Tensiones



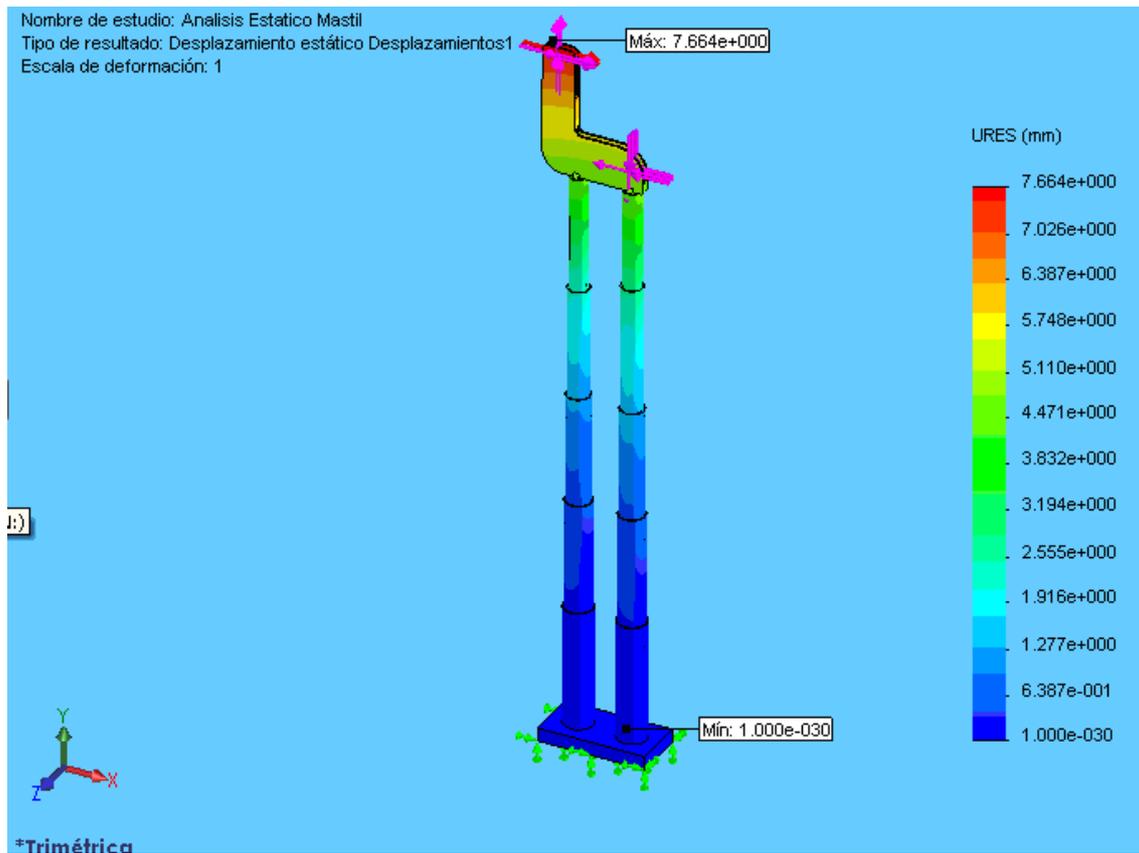
Puede observarse como el máximo valor de tensión se localiza en el pasador K, lugar de aplicación de la mayor carga, procedente del cilindro KH.

Existen valores altos de tensión en la camisa superior, con valores decrecientes según se desciende por las diferentes camisas hasta llegar a la base. Ello es coherente debido a que el mástil se comporta como una viga empotrada en la zona inferior y con voladizo en la zona superior.

Cabe también destacar como la magnitud de la tensión es mayor en las zonas exteriores de los cilindros extensibles, lo cual concuerda con la dirección y sentido de las fuerzas aplicadas sobre la cabeza del mástil.

Por último, se encuentran otras zonas locales de tensiones elevadas en los cambios de sección de la cabeza del mástil. Se ha conseguido reducirlas a un valor seguro tras los redondeos realizados.

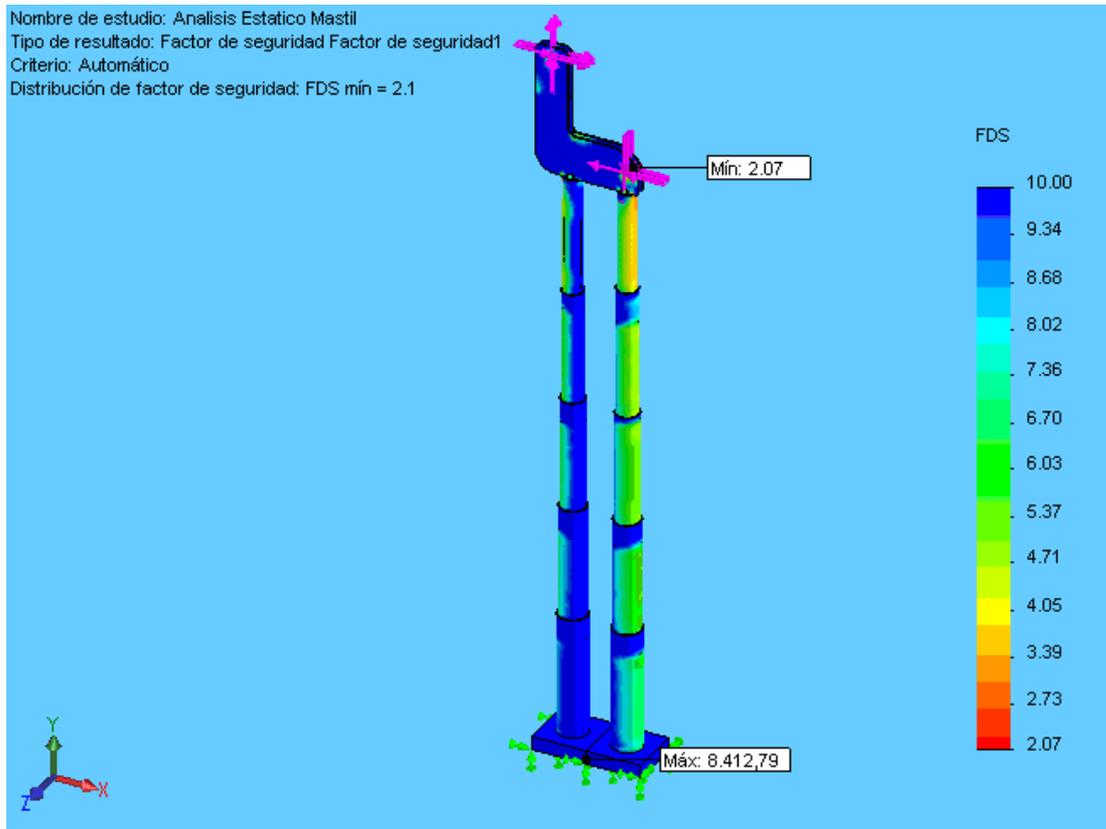
## Deformaciones



Gráfica de deformaciones, que presenta un desplazamiento máximo de 7'664 mm, valor perfectamente asumible en una longitud de 5000 mm.

## Coeficiente de seguridad

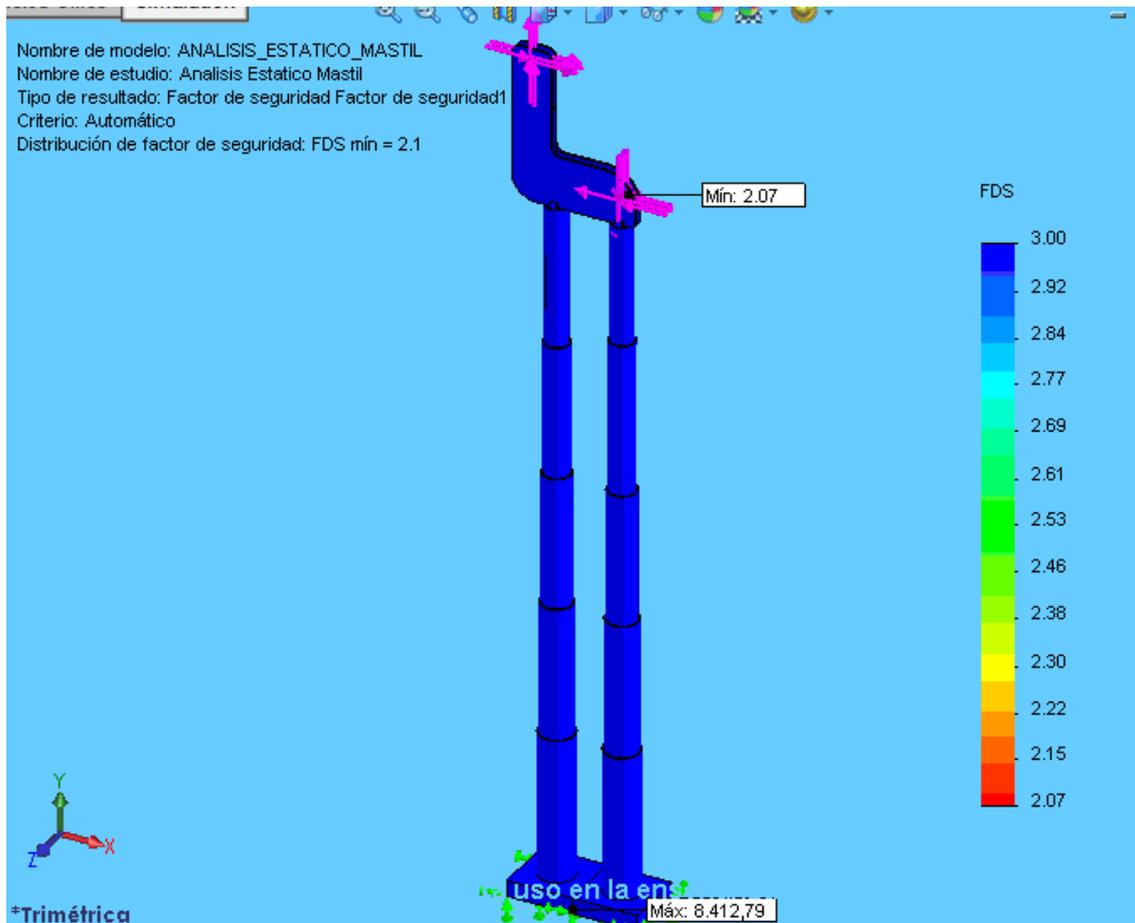
Escala: Cs mínimo a 10



En esta captura se observa la distribución del Cs hasta un valor de 10, mostrando con mayor detalle como se comporta este parámetro frente a las cargas aplicadas en los pasadores superiores (I,K).

## Coeficiente de seguridad

Escala: Cs mínimo a 3



En esta captura puede observarse como el Coeficiente de seguridad general está por encima del requerido,  $Cs = 3$ .

Existe una zona muy localizada donde el Cs es inferior (Pasador K) debido a concentración de tensiones. Sin embargo, un valor de 2.07 es suficiente para una situación puntual de este tipo.

## **5.- Conclusiones, motivación y agradecimientos**

### **Conclusiones**

Este apartado comprende un resumen de lo realizado en el proyecto: lugar de partida, proceso recorrido y final alcanzado.

En primer lugar, parto del objetivo de diseñar una plataforma elevadora móvil de personal capaz de realizar distintos trabajos urbanos, por lo que sus máximas características deben ser la flexibilidad y polivalencia.

A continuación, realizo un estudio de mercado de la situación actual en cuanto a normativa y soluciones existentes, seleccionando gracias a ello la PEMP Haulotte HA20PX como máquina más adecuada para alcanzar el objetivo.

En base a esta elección, analizo todos los movimientos y posiciones que la máquina es capaz de realizar, sustituyendo una parte del diseño por un sistema que considero mejor, y elaboro un análisis estático y predimensionado de todas las piezas y conjuntos.

Más tarde, compruebo este predimensionado mediante el soporte SolidWorks 2010: diseño cada pieza y las ensambló en sus diferentes conjuntos hasta conseguir formar la máquina completa. Tras ello, simulo los movimientos estudiados anteriormente, verificando la no existencia de interferencias.

A partir del ensamblaje y mediante la herramienta COSMOSWORKS, analizo cada uno de los 3 grandes conjuntos en los que se divide la máquina, a través de un proceso iterativo: selección del material, definición de los conectores, establecimiento de restricciones y condiciones de apoyo, aplicación de las cargas externas, mallado y ejecución. En base a los resultados obtenidos, y tras comprobar que la transmisión de esfuerzos ha sido correcta, efectúo ligeras mejoras –redondeos, refuerzos- y repito el proceso hasta alcanzar una distribución general del factor de seguridad igual a 3 y una distribución local mayor a 1.

Por último, obtengo unos resultados gráficos finales (tensión, desplazamiento y factor de seguridad) que otorgan validez a todo el trabajo realizado.

### **Motivación: El proyecto como fin de carrera**

En este proyecto fin de carrera he intentado aplicar todos aquellos conocimientos que he ido adquiriendo en el tiempo de curso de la titulación en particular y en mi desarrollo personal en general.

En particular, la idea general que ha presidido este proyecto ha sido una muy simple:

- No es un trabajo cualquiera con el que cumplir el expediente.

La plataforma debe ser real. Debo estar convencido de que, si se fabricara, funcionaría y su uso sería seguro

En general, podría resumir los conocimientos que he adquirido en estos años en tres grandes e importantes ideas

- Valor de la creatividad, iniciativa y pasión
- “Descompones un problema complejo en varios sencillos. Los solucionas y... *voilà*, ya tienes el complejo”
- “Ingeniero viene de ingenio”

## **Agradecimientos**

*A Paula Canalís, por readmitirme tras volver de Malta*

*A Alberto y José Antonio, por cederme sus conocimientos*

*A José Luís, por recomendarme iniciar esta carrera*

*A Ana Aínsa, por enseñarme a exponer*

*A Lorena, because... you know*

## **6.- Datos, fecha y firma**

Diseño, cálculo y modelado de plataforma elevadora de personal

Proyecto Fin de Carrera – Ingeniería Técnica Industrial especialidad Mecánica

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza

Universidad de Zaragoza

David Martín-Maza

Zaragoza, 14 de Febrero de 2011