

PROYECTO FIN DE CARRERA

**CALCULO, REDISEÑO Y
OPTIMIZACION DE SOPORTES
PARA EL CAMBIO DE MOTORES
Y CONJUNTOS REDUCTORES EN
ROBOTS**



Ingeniería Técnica Industrial especialidad Mecánica

Departamento de Ingeniería Mecánica

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza

Universidad de Zaragoza

Autor: Nicolás Dapena Gómez

Director: Javier Abad Blasco

Co-Director: Antonio Baleriola Martin

Zaragoza a 12 de Mayo de 2011

INDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	10
1.1	TITULO DEL PROYECTO	10
1.2	DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO	10
2	FASES DE DESARROLLO DEL PROYECTO	11
2.1	PRIMERA FASE: GEOMETRIA DE LOS ROBOT	11
2.2	SEGUNDA FASE: MODELO INICIAL Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
2.3	TERCERA FASE: REDISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL MOLDEO INICIAL	11
3	DESARROLLO DEL TRABAJO	12
3.1	MODELO INICIAL Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
3.2	TIPOS DE ROBOTS A ESTUDIAR.....	13
3.2.1	ABB IRB 6400.....	13
3.2.2	FANUC 420-SW.....	14
3.2.3	FANUC S-420IF.....	15
3.3	MODELOS DE PARTIDA.....	16
3.3.1	ROBOT ABB IRB 6400.....	18
3.3.2	FANUC R-2000 IA.....	19
3.3.3	FANUC S-420 IW	19
4	OBTENCION DE ESFUERZOS.....	20
4.1	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA AMEB.....	20
4.1.1	ASPECTOS GENERALES	20
4.1.2	INTRODUCCIÓN DE DATOS DEL PROBLEMA.....	22
4.2	MODELOS EN AMEB.....	25
4.2.1	ABB 6400	25
4.2.2	FANUC R-2000 IA.....	26
4.2.3	FANUC 420 SW	27
5	ESTUDIO DEL MODELO INICIAL.....	28
5.1	PROCESO DE DISCRETIZACION DEL MODELO	28
5.1.1	DESIGNACION DEL MATERIAL DEL COMPONENTE.....	28
5.1.2	CONEXIONES ENTRE COMPONENTES	30
5.1.3	CONDICIONES DE CONTORNO.....	30

5.1.4	CONDICIONES DE CARGA	32
5.1.5	MALLADO DEL ELEMENTO	34
5.1.6	EJECUTAR ESTUDIO	35
6	REDISEÑO, OPTIMIZACIÓN Y ESTUDIO DEL MODELO INICIAL	36
6.1	CRITERIOS DE OPTIMIZACION	36
6.2	CRITERIOS DE REDISEÑO	36
6.3	MODELOS FINALES	38
6.3.1	ABB 6400	38
6.3.2	FANUC R-2000IA.....	39
6.3.3	FANUC 420- SW.....	39
6.4	ESTUDIO DE LOS NUEVOS MODELOS	40
7	METODOLOGIA DEL CALCULO ESTATICO	41
8	RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS ESTATICOS.....	42
8.1	ROBOT ABB 6400	43
8.1.1	COMPONENTE A6400-1	43
8.1.2	COMPONENTE A6400-2.....	45
8.1.3	COMPONENTE A6400-3.....	47
8.1.4	COMPONENTE A6400-4.....	48
8.1.5	RESUMEN DEL ESTUDIO	49
8.2	FANUC 2000IA.....	50
8.2.1	COMPONENTE FR-2000.....	50
8.2.2	RESUMEN DEL ESTUDIO	52
8.3	FANUC S-420 IW.....	53
8.3.1	COMPONENTE F420-1.....	53
8.3.2	COMPONENTE F420-2.....	55
8.3.3	COMPONENTE F420-3.....	56
8.3.4	RESUMEN DEL ESTUDIO	58
9	IMPACTO ECONOMICO	59
10	CONCLUSIONES	64
11	AGRADECIMIENTOS	65
12	BIBLIOGRAFIA	65

INDICE ANEXOS

ANEXO 1 – MATERIALES	68
1. INTRODUCCION.....	68
2. ACERO ESTRUCTURAL (E-295)	68
3. PROPIEDADES Y ENSAYOS	69
ANEXO 2 – PLANOS	71
1. ABB 6400	
1.1 A6400-1	
1.2 A6400-2	
1.3 A6400-3	
1.4 A6400-4	
1.5 A6400-1R	
1.6 A6400-2R	
1.7 A6400-3R	
2. FANUC R-2000IA	
2.1 F2000-1	
2.2 F2000-1R	
3. FANUC 420 SW	
3.1 F420-1	
3.2 F420-2	
3.3 F420-3	
3.4 F420-1R	
3.5 F420-2R	
3.6 F420-3R	

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Geometría ABB 6400	13
Fig. 2 – Soporte A6400-1	13
Fig. 3 – Soporte A6400-2 y 3	13
Fig.4 – Soporte A6400-4	13
Fig. 5 – Geometría Fanuc 2000iA	14
Fig. 6 – Soporte FR2000.....	14
Fig. 7 – Geometria Fanuc S-420 SW	15
Fig. 8 – Soporte S-420 SW	15
Fig. 9 – Soporte S-420 SW	15
Fig. 9 – Soporte S-420 SW	15
Fig. 10 – Croquis en SolidWorks.....	16
Fig. 11 – Extrucción en SolidWorks.....	16
Fig. 12 – Modelado 3D en SolidWorks	17
Fig. 13 – Tabla componentes ABB 6400.....	18
Fig. 14 – Tabla componentes Fanuc R-2000 iA	19
Fig. 15 – Tabla componentes Fanuc S-420 SW.....	20
Fig. 16 – Pantalla principal AMEB	21
Fig. 17 – Geometría, condiciones apoyo, cargas y resultados de esfuerzos cortante y axil en ABB 6400 con AMEB	25
Fig. 18 – Geometría, condiciones apoyo, cargas y resultados de esfuerzos cortante y axil en Fanuc R-2000 iA con AMEB	26
Fig. 19 – Geometría, condiciones apoyo, cargas y resultados de esfuerzos cortante y axil en Fanuc 420 SW con AMEB	27
Fig. 20 – Menú materiales en SolidWorks	29
Fig. 21 – Menú sujeciones en SolidWorks	30
Fig. 22 – Sujeciones sobre caras cilíndricas en SolidWorks	31
Fig. 23 – Imposición de movimientos en superficies de apoyo SolidWorks.....	31
Fig. 24 – Designación tipo de sujeción en SolidWorks	31
Fig. 25 – Menú cargas externas SolidWorks	33
Fig. 26 – Designación de superficies y valor de la fuerza externa en SolidWorks ...	33
Fig. 27 – Menú mallado en SolidWorks	34
Fig. 28 – Configuración de la malla en SolidWorks.....	34
Fig. 29 – Mallado de elemento 3D en SolidWorks.....	35
Fig. 30 – Menú estudio en SolidWorks	35

Fig. 31 – Modelos finales ABB 6400	38
Fig. 32 – Modelos finales FANUC R-2000iA	39
Fig. 33 – Modelos finales FANUC 420-SW.....	40
Fig. 34 – Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo inicial A6400-1	43
Fig. 35 –Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo rediseño A6400-1	44
Fig. 36 – Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo inicial A6400-2	45
Fig. 37 – Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo rediseño A6400-2.....	46
Fig. 38 – Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo inicial A6400-3	47
Fig. 39– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo rediseño A6400-3	47
Fig. 40– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo inicial A6400-4	48
Fig. 41– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo inicial FR-2000	50
Fig. 42– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo final FR-2000	51
Fig. 43– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo inicial F420-1	53
Fig. 44– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo final F420-1	54
Fig. 45– Modelo inicial F420-2	55
Fig. 46– Modelo final F420-2.....	55
Fig. 47– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo inicial F420-3	56
Fig. 48– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo final F420-3.....	57
Fig. 49 – Ensayo tracción en Acero	68
Fig. 50 – Ductilidad en distintos tipos de Acero.....	68
Fig. 51 – Ensayos de tracción Acero	69

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Resultados esfuerzos ABB 6400 modelado con AMEB	26
Tabla 2 – Resultados esfuerzos FANUC R2000iA modelado con AMEB	27
Tabla 3 – Resultados esfuerzos FANUC 420 SW modelado con AMEB	28
Tabla 4 – Propiedades Acero E-295	29
Tabla 5 – Cargas a introducir en estudio	32
Tabla 6 – Criterios de diseño soportes.....	37
Tabla 7– Distribución de los resultados.....	42
Tabla 8 – Resumen estudio ABB 6400.....	49
Tabla 9 – Resumen estudio FANUC R2000iA.....	52
Tabla 10 – Resumen estudio FANUC 420SW	58
Tabla 11 – Coste mantenimiento sin soportes	59
Tabla 12 – Coste mantenimiento con soportes	59
Tabla 13 – datos líneas de producción.....	60
Tabla 14 – Coste perdidas no producción sin soportes Lat. Corsa.....	61
Tabla 15 – Coste perdidas no producción con soportes Lat. Corsa.....	61
Tabla 16 – Resumen costes lat. Corsa	61
Tabla 17 – Coste perdidas no producción sin soportes Lat. Meriva.....	62
Tabla 18 – Coste perdidas no producción con soportes Lat. Meriva.....	62
Tabla 19 – Resumen costes lat. Meriva	62
Tabla 20 – Coste perdidas no producción sin soportes Piso trasero Meriva	63
Tabla 21 – Coste perdidas no producción con soportes Piso trasero Meriva	63
Tabla 22 – Resumen costes Piso trasero Meriva	63

1 INTRODUCCIÓN

1.1 TITULO DEL PROYECTO

CALCULO, REDISEÑO Y OPTIMIZACION DE SOPORTES PARA EL CAMBIO DE MOTORES Y CONJUNTOS REDUCTORES EN ROBOTS.

1.2 DEFINICIÓN Y ALCANCE DEL PROYECTO

Se trata de un proyecto de investigación llevado a cabo en el Departamento de Mantenimiento Industrial perteneciente a la nave de carrocerías de General Motors.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar y optimizar los soportes estructurales de los modelos de robots ABB IRB 6400, FANUC R2000iA y FANUC 420-SW para lograr su inmovilización mecánica en las líneas de producción. Esto permitirá realizar las operaciones de mantenimiento necesarias tales como la sustitución de motores o conjuntos reductores dentro de las líneas de producción en forma segura, rápida y eficaz.

Lo anterior permitirá eliminar el paso intermedio de desmontar los robots en las líneas de producción y transportarlos al taller mecánico para realizar las respectivas reparaciones. Esta acción conlleva a un importante ahorro económico englobando aspectos de personal y logística que intervienen en los procedimientos que en la actualidad se desarrollan para estas reparaciones.

Además de lo mencionado anteriormente, la utilización de estos soportes estructurales, evitará la reprogramación de los robots de tal manera que una vez reparados quedarán totalmente inmovilizados evitando las desviaciones en los reductores.

Para obtener los mejores resultados, se procederá a realizar el estudio de las cargas soportadas por los diferentes tipos de soportes en cada robot y, en función de los resultados obtenidos, se procederá a optimizar el diseño bien sea a nivel estructural, a nivel de materiales o en ambos niveles; respetando siempre las restricciones de seguridad y de las dimensiones previamente impuestas.

Para lograr los objetivos propuestos, el proyecto, se realizará en tres fases:

- Primera fase: Geometría del robot.
- Segunda fase: Análisis de los resultados obtenidos en la segunda fase.
- Tercera fase: Rediseño y modificaciones del moldeo inicial

La tercera fase del proyecto la conforma el análisis de los resultados obtenidos en la segunda fase. De su análisis se espera obtener la base para las modificaciones pertinentes en cuanto a geometría, aligeramiento y rigidez óptimos en los soportes.

En la tercera fase se realizarán los estudios paramétricos de los distintos tipos de materiales, buscando el abaratamiento de los costes en el conjunto de soportes.

Con el análisis de estas variables y la aplicación de los resultados en el diseño y elección de materiales para los nuevos soportes, serían de esperar resultados tales como:

- Un nuevo y revolucionario producto para las industrias que utilicen robots en sus procesos industriales.
- Proponer a las industrias de robótica industrial un sistema para mejorar las condiciones de reparación directamente en las cadenas de producción de sus clientes.

2 FASES DE DESARROLLO DEL PROYECTO

Como ya se mencionó, el desarrollo del proyecto consta de tres fases, las cuales se describen a continuación.

2.1 PRIMERA FASE: GEOMETRIA DE LOS ROBOT

En esta fase se hará una descripción de la geometría de los robots ABB IRB 6400, FANUC S-420iF y FANUC 420-SW, describiendo el problema que se quiere solucionar con los resultados de este proyecto.

2.2 SEGUNDA FASE: MODELO INICIAL Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Esta fase se basa en los soportes iniciales teniendo en cuenta las restricciones geométricas impuestas por la forma de los robots. Se procederá al modelado de los soportes en programas CAD.

Los soportes se modelarán mediante la aplicación del programa SolidWorks, con las medidas y geometrías reales, y serán la base para el estudio de dimensionado y geometría óptima que se desarrollará posteriormente.

2.3 TERCERA FASE: REDISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL MOLDEO INICIAL

En esta fase se busca reducir la relación de espesores que conforman los soportes, siendo LA PRINCIPAL ESPECIFICACIÓN TÉCNICA la de respetar la medida que impone el coeficiente de seguridad.

Sabiendo que, una vez instalados los soportes en la estructura del robot para que esta quede inmovilizada, habrán técnicos y operarios trabajando debajo de los brazos del robot; se considera relevantes el evitar al máximo posible los accidentes

laborales que puedan ocasionar la rotura de estos soportes. Por la anterior se ha optado dimensionarlos con un coeficiente de seguridad mínimo de 2.

Esta reducción es factible de realizar mediante el achaflanado de las aristas, vaciado de perfiles macizos y supresión de las zonas sobredimensionadas o que no presentan ninguna función estructural.

Para el modelo elegido es decir, sobre el cual se calcule y se efectúe el estudio, y una vez realizado el mallado del mismo; se procederá a la imposición de estados de carga y condiciones de contorno necesarias para el correcto funcionamiento de los soportes.

Por último, se presentaran los correspondientes esquemas de la geometría de los robots una vez instalados los soportes.

3 DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1 MODELO INICIAL Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente se han desarrollado varios soportes para tres tipos de robot, en este apartado, se procederá a hacer una breve descripción de los distintos modelos con sus correspondientes casos de carga.

En cuanto a las restricciones geométricas de los soportes, estos se diseñarán aprovechando los espacios libres de la estructura del robot tales como orificios en las bases, caras planas de los brazos, etc.; para poder empotrarlos y así, obtener el equilibrio estático buscado por la sustitución de sus componentes cinemáticos.

Al introducir los soportes dentro de la estructura del robot, estos automáticamente pasan a formar parte de su conjunto de piezas.

El planteamiento del problema, consiste en determinar los esfuerzos que soportan estos elementos para así, proceder a su dimensionamiento optimizando su peso, volumen y geometría.

Para el cálculo de los estados de carga de cada tipo de soporte, se procederá de la siguiente forma:

- Una vez instalados los soportes en cada uno de los robots, estos deberán quedar estáticamente equilibrados.
- Conseguido el equilibrio estático, se procederá a realizar el croquis de las respectivas geometrías.
- Los croquis obtenidos permitirán calcular los correspondientes estados de carga de cada soporte.

3.2 TIPOS DE ROBOTS A ESTUDIAR

Se analizarán los robots que se encuentran en mayor proporción numérica dentro de la nave de carrocerías.

Concretamente se trata de los siguientes modelos:

3.2.1 ABB IRB 6400

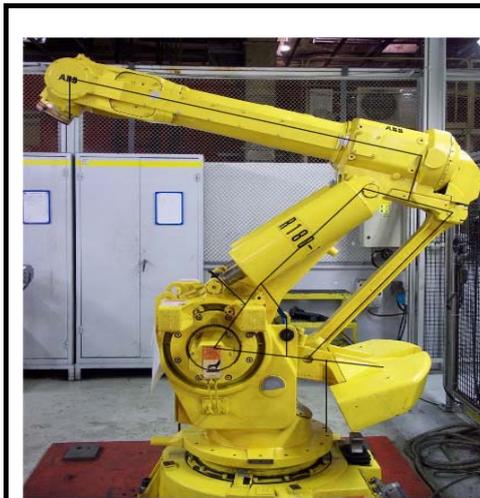


Fig. 1 – Geometría ABB 6400



Fig. 2 – Soporte A6400-1



Fig. 3 – Soporte A6400-2 y 3



Fig. 4 – Soporte A6400-4

3.2.2 FANUC 420-SW



Fig. 5 - Geometría Fanuc 2000iA



Fig. 6 – Soporte FR2000

3.2.3 FANUC S-420 SW



Fig. 7 - Geometría Fanuc 420 SW



Fig. 8 - Soporte Fanuc 420 - 1



Fig. 9 - Soporte Fanuc 420 - 2



Fig. 9. Soporte Fanuc 420 - 3

3.3 MODELOS DE PARTIDA

La siguiente modelación se ha llevado con SolidWorks, plasmando las distintas geometrías de los componentes con su medida real.

Para ello se ha hecho uso de las herramientas de coquizado para dibujar las diferentes vistas de cada soporte.

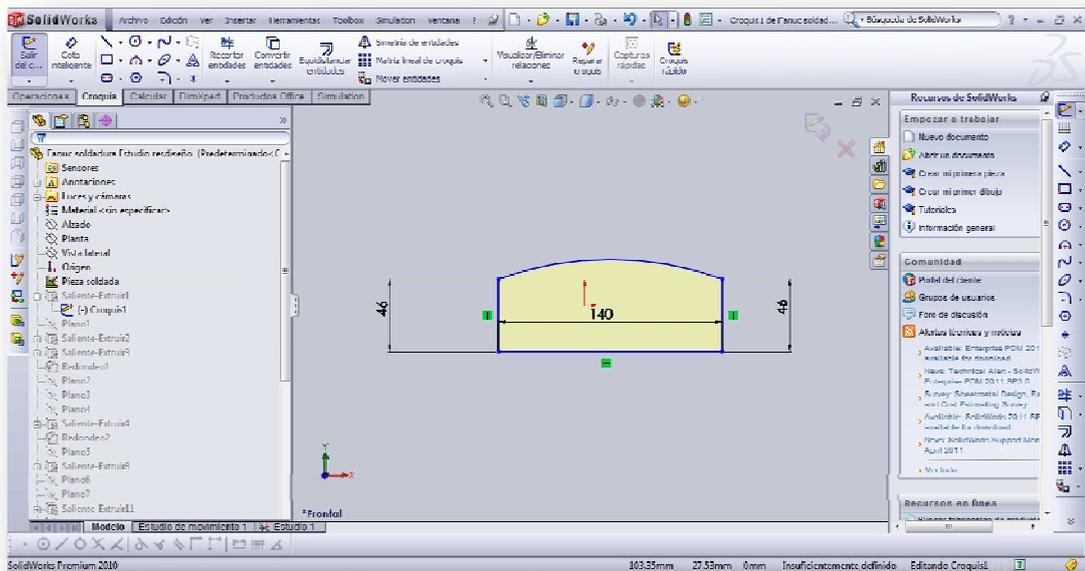


Fig. 10 – Croquis en SolidWorks

Una vez coquizadas, se pasa al modelado, en donde se llevan a cabo las acciones de extruir solido, crear chaflanes, taladros, etc.

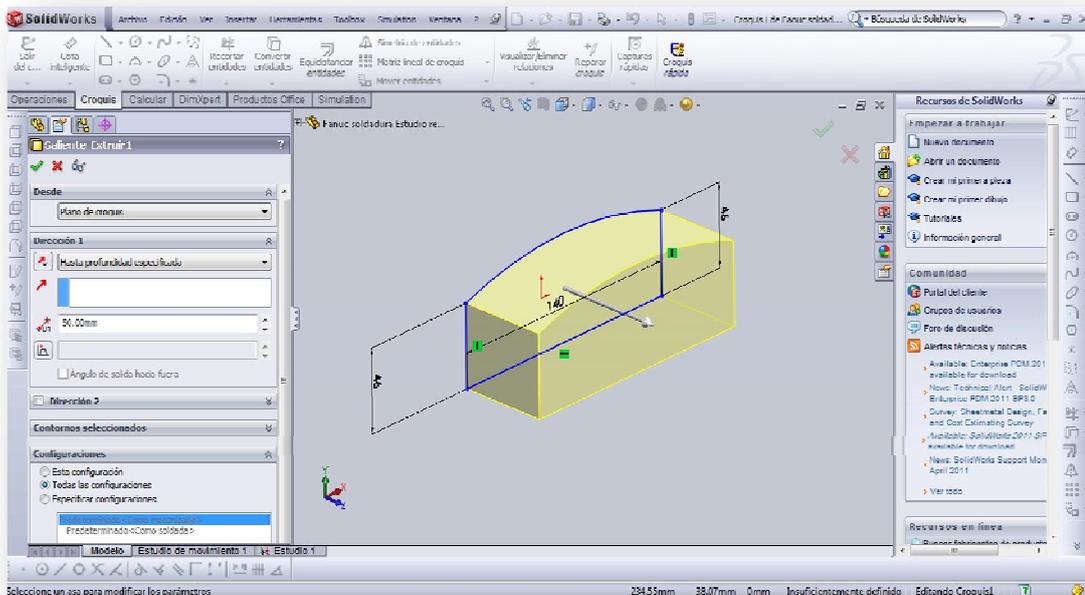


Fig. 11 Extrucción en SolidWorks

Repitiendo los pasos mencionados anteriormente, se obtiene la modelización del soporte en 3D.

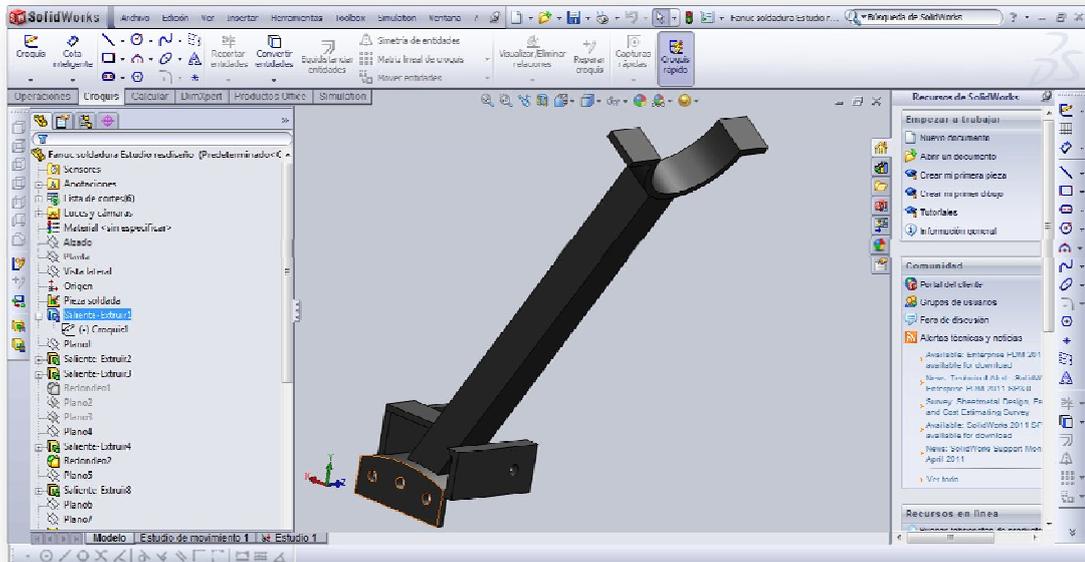


Fig. 12 Modelado 3D en SolidWorks

En las siguientes tablas, se representan modelos en 3D los empleados para cada tipo de robot.

3.3.1 ROBOT ABB IRB 6400

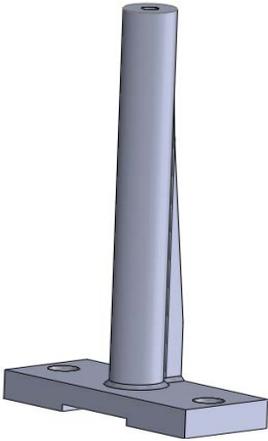
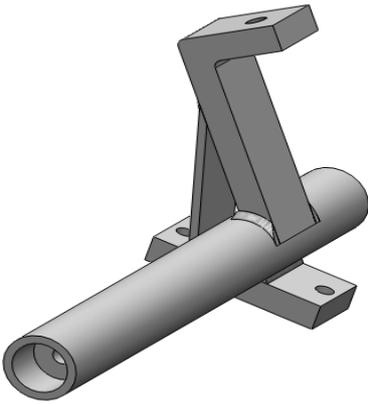
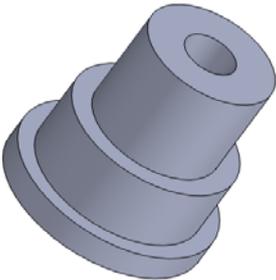
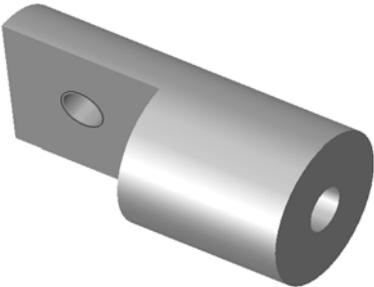
COMPONENTE	MODELO CON SOLIDWORKS	NUMERO DE PIEZAS
A6400-1		1
A6400-2		1
A6400-3		2
A6400-4		1

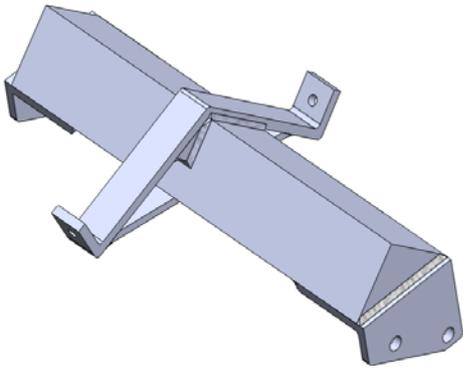
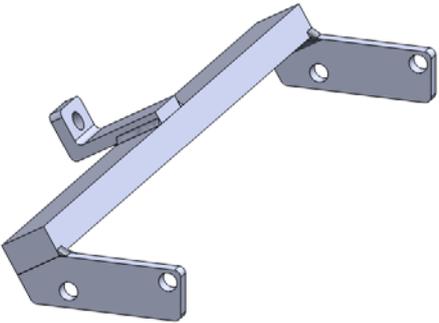
Fig. 13 – Tabla componentes ABB 6400

3.3.2 FANUC R-2000 IA

COMPONENTE	MODELO CON SOLIDWORKS	NUMERO DE PIEZAS
FR2000		1

Fig. 14 – Tabla componentes Fanuc R-2000 iA

3.3.3 FANUC S-420 SW

COMPONENTE	MODELO CON SOLIDWORKS	NUMERO DE PIEZAS
F420-1		1
F420-2		1

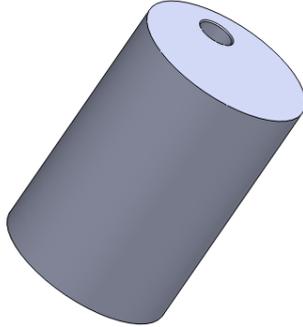
COMPONENTE	MODELO CON SOLIDWORKS	NUMERO DE PIEZAS
F420-3		1

Fig. 15 – Tabla componentes Fanuc S-420 iW

4 OBTENCION DE ESFUERZOS

Para la obtención de los esfuerzos que soporta cada componente, se ha utilizado el programa AMEB, el cual realiza el análisis estático (elástico-lineal), mediante análisis matricial de estructuras planas articuladas o rígidas.

Se optó por este programa, porque una vez instalados los soportes en los robots, la geometría final, se puede simular como estructuras planas.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA AMEB

4.1.1 ASPECTOS GENERALES

Consta básicamente de tres ventanas, la de la derecha destinada a la visualización del problema a resolver, la de la izquierda donde se define la estructura, y la de abajo en donde se muestran los resultados.

Se puede modificar el tamaño de las tres ventanas según las necesidades del usuario en cada momento.

Sobre las ventanas están los menús de Archivo, Edición, Ver, Proceso, Ayuda; y una serie de botones cuya leyenda se presenta a continuación:

- A. Actualizar (F7): Actualiza la vista sobre la ventana de la derecha.
- B. Analizar (F9): Realiza el cálculo del problema.
- C. Stop: Permite parar el cálculo que se esté realizando.
- D. Ver apoyos.
- E. Ver cargas.
- F. Ver numeración.
- G. Ver escalas.
- H. Ver ejes.
- I. Ver reacciones.
- J. Ver deformada.
- K. Ver diagrama de esfuerzos axiales.
- L. Ver diagrama de esfuerzos cortantes.
- M. Ver diagrama de momentos flectores.

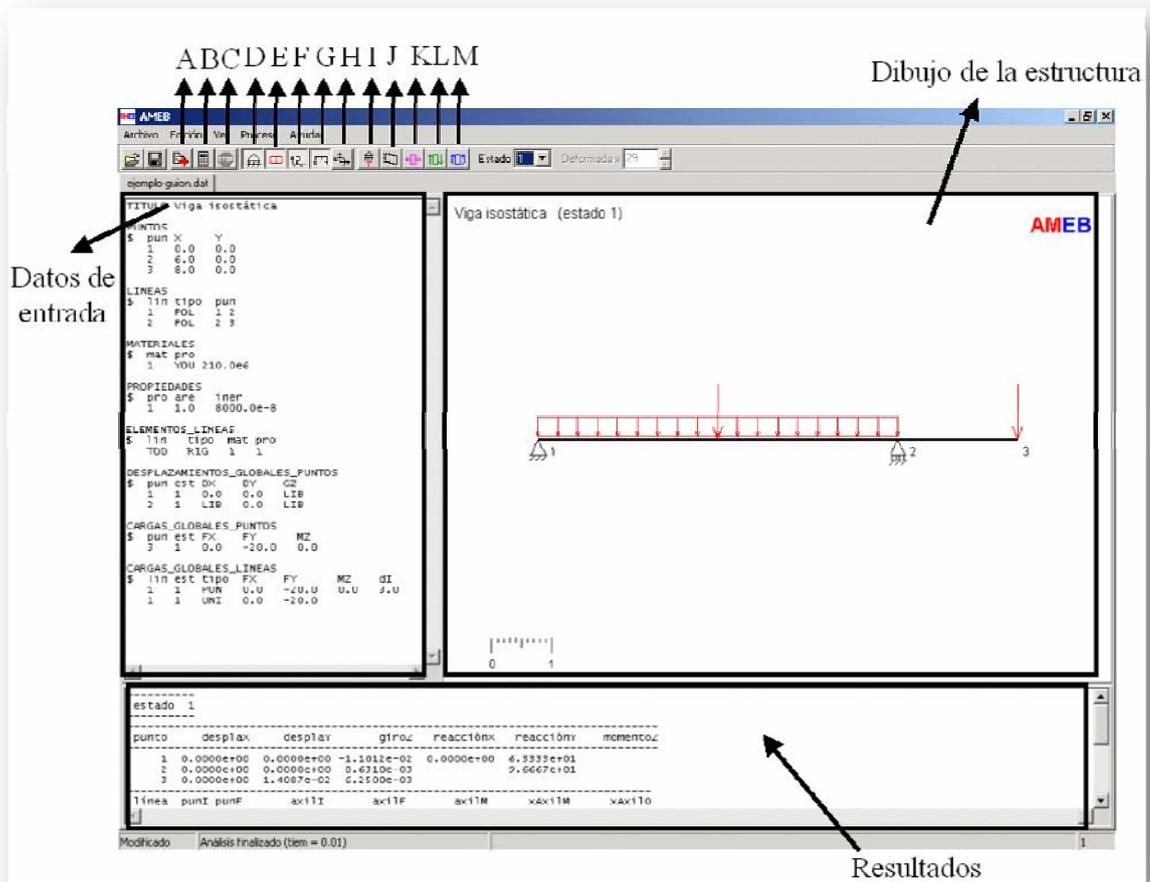


Fig. 16 – Pantalla principal AMEB

4.1.2 INTRODUCCIÓN DE DATOS DEL PROBLEMA

Los datos de la estructura a resolver se introducen modificando los datos originales del fichero de partida, sobre la ventana superior izquierda.

A continuación se describe cómo introducir los datos más importantes:

- Nudos: definido el número de nudo se introducen las coordenadas x e y de dicho punto. (Unidades Cm, por ejemplo).

Se han definido los puntos del centro de masas, apoyo de los soportes y componentes del robot.

PUNTOS

\$ pun X Y

1 0.0 152.13

2 148.94 115

- Barras: se define el número de la barra, se pueden definir barras rectas (POL) o barras curvas (ARC).

A continuación se define el inicio y fin de la línea (POL) y para barras curvas el punto inicial, intermedio y final

LINEAS

\$ lin tipo pun

1 POL 1 16

2 POL 2 3

- Materiales: Se definen tantos tipos de materiales (1, 2,...) como distintos materiales haya, indicándose a continuación el tipo de propiedad.

Se introduce, en este caso el módulo de Young (YOU) del material del robot (Acero estructural) en Kp/cm^2

MATERIALES

\$ mat pro

1 YOU 210.0e6

- Tipos de secciones o perfiles: Se definen los datos de la sección (área, inercia).

Cada barra de la estructura del robot tiene distinta área, aunque se ha considerado la misma inercia para todas, de ahí que haya varias propiedades definidas.

PROPIEDADES

\$	pro	are	iner
	1	9121.02	10000.0
	2	17959.77	10000.0

- Características de las barras: Se asigna a cada barra, el tipo del elemento barra (nudos articulados ART; articulado-articulado ART_ART; articulado-rígido ART_RIG; rígido-articulado RIG_ART; rígido RIG); el tipo de material, y la sección anteriormente definida.

Las partes que componen al conjunto del robot, esta unidas mediante engranajes, los cuales se han simulado como si fueran rotulas, el resto de uniones de sus componentes se han tomado como rígidos.

ELEMENTOS_LINEAS

\$	lin	tipo	mat	pro
	14,15,2	RIG	1	2
	1	RIG	1	1

- Condiciones de apoyo o desplazamientos impuestos: Se indica el nudo y si el grado de libertad correspondiente está restringido (0.0) o libre (LIB).

Para los desplazamientos en los soportes se ha tomado un apoyo fijo, impidiendo el movimiento horizontal como vertical pero permitiendo el giro.

DESPLAZAMIENTOS_GLOBALES_PUNTOS

\$	pun	est	DX	DY	GZ
	7	1	0.0	0.0	LIB
	10	1	LIB	0.0	LIB

- Cargas globales en puntos (cargas puntuales): Se indica el nudo y el valor de la fuerza o momento con el signo correspondiente según el grado de libertad.

Las cargas han sido colocadas en los centros de gravedad de los componentes principales del robot.

CARGAS_GLOBALES_PUNTOS

\$	pun	est	FX	FY	MZ
	1	1	0.0	-100.0	0.0
	16	1	0.0	-100.0	0.0

Una vez introducida la estructura, clicar en el botón de **Analizar (B)** o **F9**, para obtener los resultados.

Inicialmente aparecen sobre la estructura todos los diagramas de esfuerzos, clicando en los botones correspondientes (J-M) se pueden ver los distintos diagramas y la deformada.

Los resultados de esfuerzos, desplazamientos, giros, etc. se puede visualizar, en el cuadro inferior del programa.

Para el estudio realizado, nos interesan los esfuerzos axiales en los puntos de apoyo de cada soporte.

4.2 MODELOS EN AMEB

En las siguientes figuras se muestra el proceso de modelado y obtención de los resultados que se han obtenido a traves de la modelización de los componentes utilizando el programa AMEB.

Al final de cada modelo, se adjunta una tabla con los valores de las tensiones que actúan en cada soporte.

4.2.1 ABB 6400

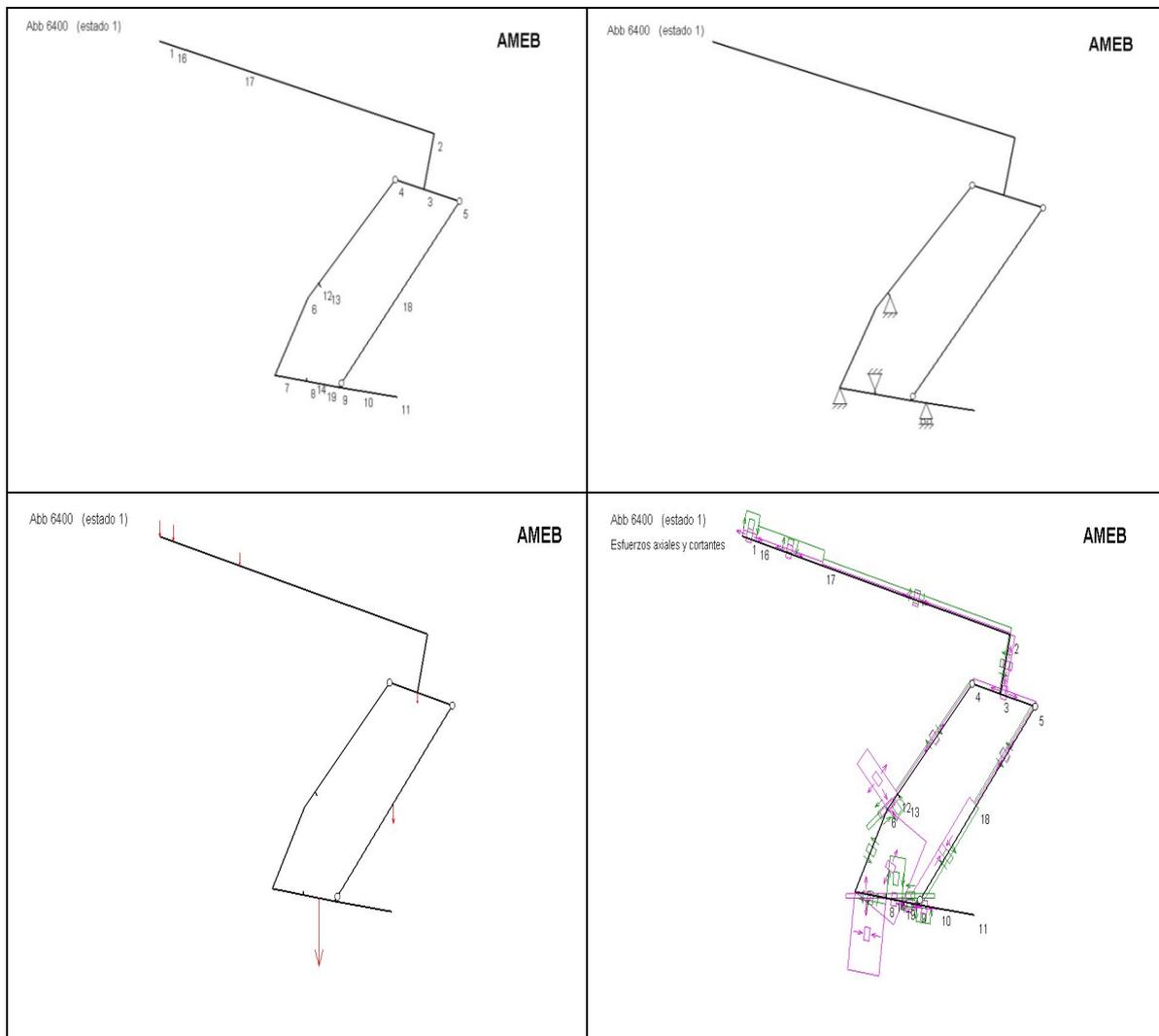


Fig. 17 – Geometría, condiciones apoyo, cargas y resultados de esfuerzos cortante y axil en ABB 6400 con AMEB

Resultados con AMEB

Componente	Axil (Kp)	Cortante (Kp)	Resultante (Kp)
A6400-1	160	0	160
A6400-2	286	530	602
A6400-3	0	0	0
A6400-4	0	0	0

Tabla 1 – Resultados esfuerzos ABB 6400 modelado con AMEB

4.2.2 FANUC R-2000 IA

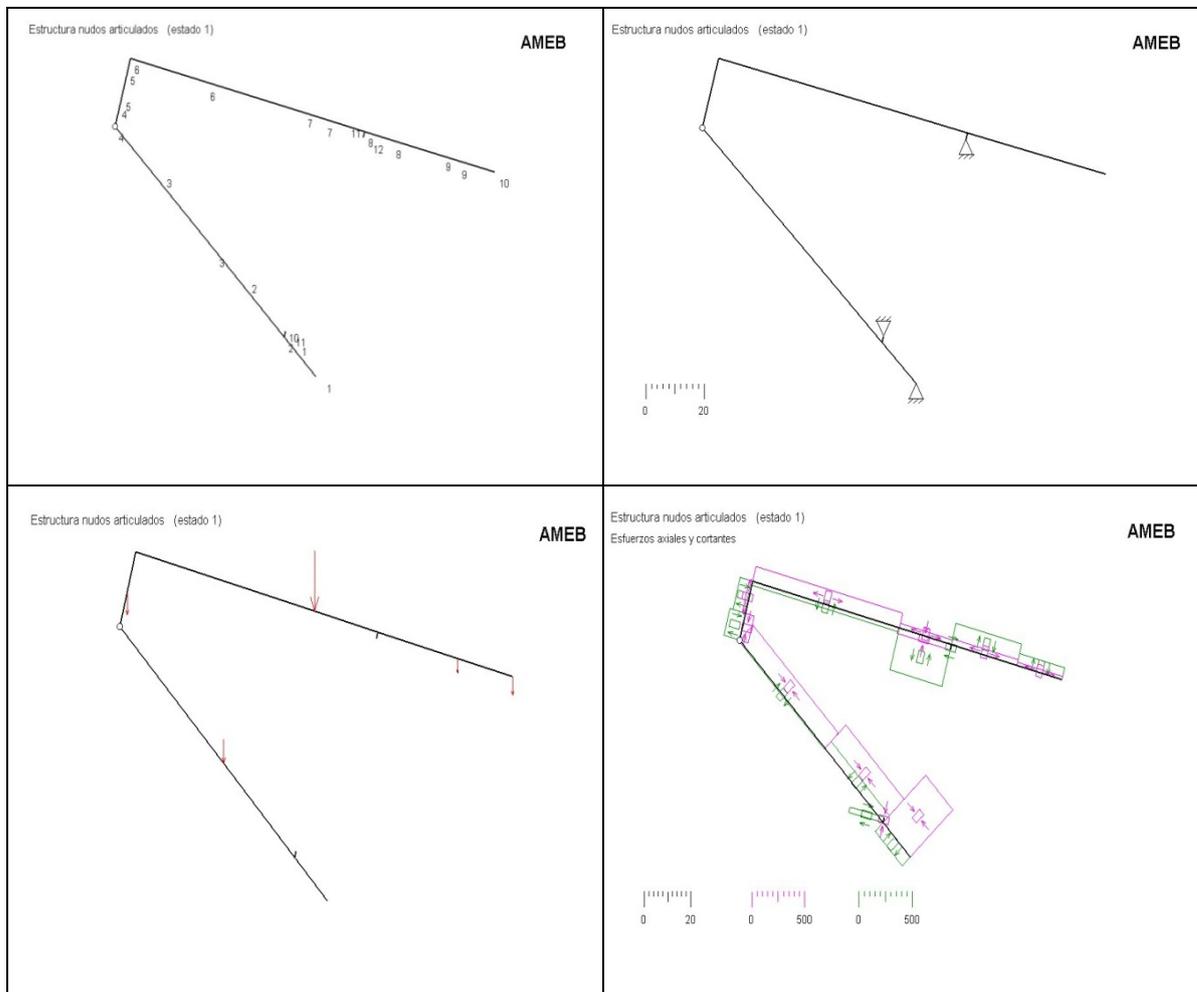


Fig. 18 – Geometría, condiciones apoyo, cargas y resultados de esfuerzos cortante y axial en Fanuc R-2000 iA con AMEB

Resultados con AMEB

Componente	Axil (Kp)	Cortante (Kp)	Resultante (Kp)
FR2000 (Arriba)	35	520	521
FR2000 (Abajo)	380	0	380

Tabla 2 – Resultados esfuerzos FANUC R-2000 iA modelado con AMEB

4.2.3 FANUC 420 SW

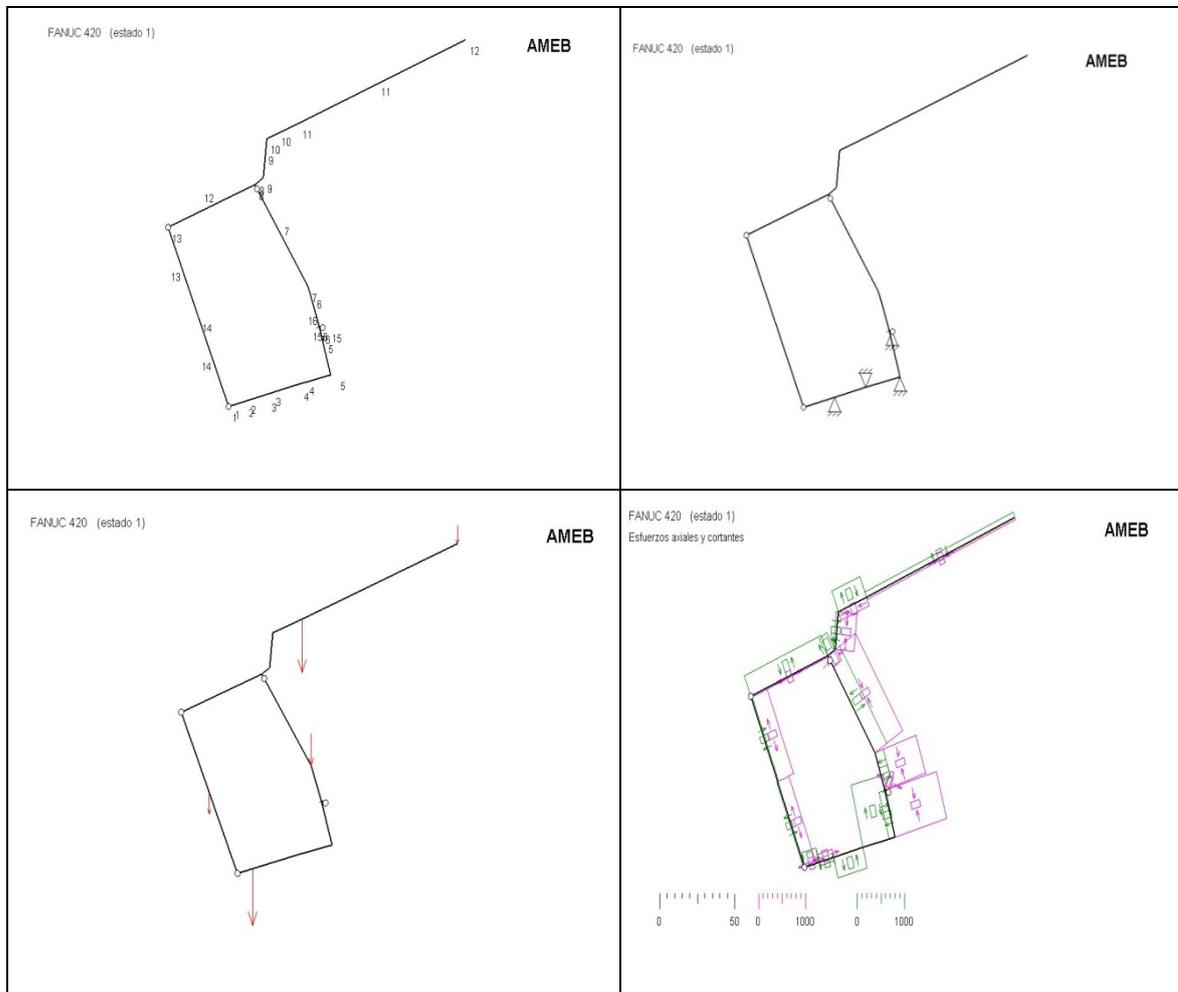


Fig. 19 – Geometría, condiciones apoyo, cargas y resultados de esfuerzos cortante y axil en Fanuc 420 SW con AMEB

Resultados con AMEB

Componente	Axil (Kp)	Cortante (Kp)	Resultante (Kp)
F420-1	332	411	528
F420-2	0	0	0
F420-3	721	0	721

Tabla3 – Resultados esfuerzos FANUC 420 SW modelado con AMEB

5 ESTUDIO DEL MODELO INICIAL

Para la realización de este estudio, se han realizado distintas acciones con distintos programas de cálculo, que a continuación se mencionaran:

5.1 PROCESO DE DISCRETIZACION DEL MODELO

Una vez obtenidos los resultados de los esfuerzos, pasamos a trabajar con SolidWorks, en dónde se realizaran los estudios correspondientes a cada soporte con sus estados de carga y condiciones de contorno, a fin de encontrar los puntos más conflictivos para su posterior análisis de redimensionamiento y rediseño.

Haciendo uso de la función “Simulation”, se procede la realización de los estudios estáticos los soportes que integran cada robot.

Paso a paso se explicara brevemente como se ha realizado la simulación.

5.1.1 DESIGNACION DEL MATERIAL DEL COMPONENTE

Para la fabricación de los soportes, se ha utilizado del acero que se dispone en el taller de la nave de carrocerías en General Motors.

Este acero, designándolo con la normativa DIN es el E-295, es un acero estructural.

Son utilizados principalmente para construcción mecánica, se caracteriza por su alta resistencia y su fiabilidad debido a sus propiedades isotrópicas.

En la tabla adjunta, se muestran las propiedades más relevantes de este material, las cuales se usan como punto de partida para realizar el estudio posterior.

PROPIEDADES		UNIDADES
E	Modulo elástico	210000 MPa
v	Coefficiente de Poisson	0.28 N/D
ρ	Densidad	7800 Kg/m³
Rp	Límite elástico	275 MPa
Rm	Limite tracción	420 MPa

Tabla 4 – Propiedades Acero E-295

En el Anexo I se explica más extensamente las propiedades de este acero.

Para introducir el tipo de material en SolidWorks, se clic en el desplegable izquierdo, se selecciona la primera pestaña que se encuentra debajo del nombre del estudio y por último, clicando con el cursor derecho, seleccionar el material deseado.

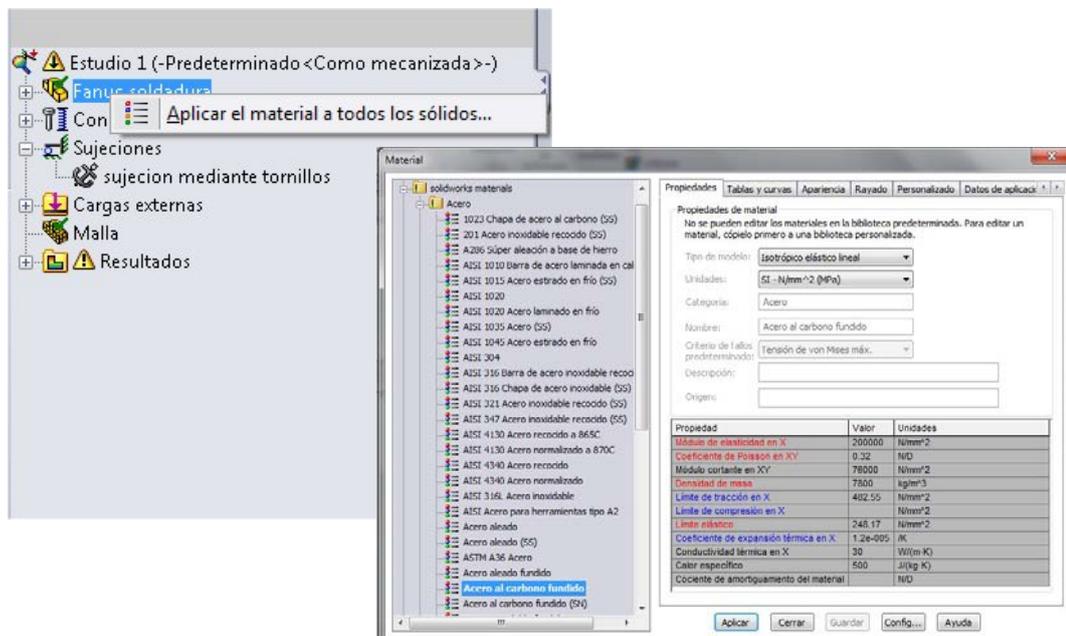


Fig. 20 – Menú materiales en SolidWorks

5.1.2 CONEXIONES ENTRE COMPONENTES

Se define como están conectados los componentes si se trata de un ensamblaje, para este estudio, NINGUN componente se ha ensamblado, se trataran como si fueran un sólido rígido.

5.1.3 CONDICIONES DE CONTORNO

Las sujeciones establecen describen como se soporta el modelo, en otras palabras, son las imposiciones al movimiento de los soportes.

El amarre de los soportes, busca impedir por completo el movimiento en los tres ejes cartesianos, es decir, el robot no tendrá ningún grado de libertad.

En el desarrollo del estudio, para introducir las condiciones de contorno en SolidWorks, se clica en el desplegable izquierdo, se selecciona la pestaña “Sujeciones” y pulsando el cursor derecho se abre la pestaña de “sujeciones” → “sujeciones avanzadas” → “sobre caras cilíndricas”, se seleccionan las caras cilíndricas del modelo, por último se imponen los tipos de movimiento que para este estudio han sido tanto radiales como axiales.

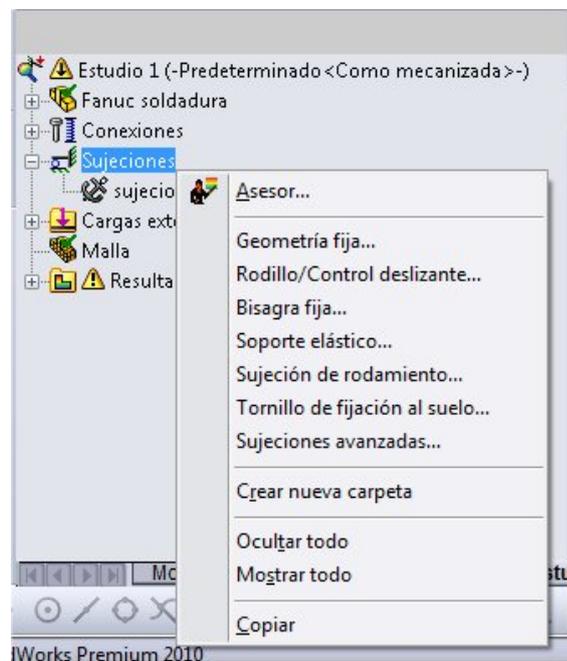


Fig. 21 – Menú sujeciones en SolidWorks

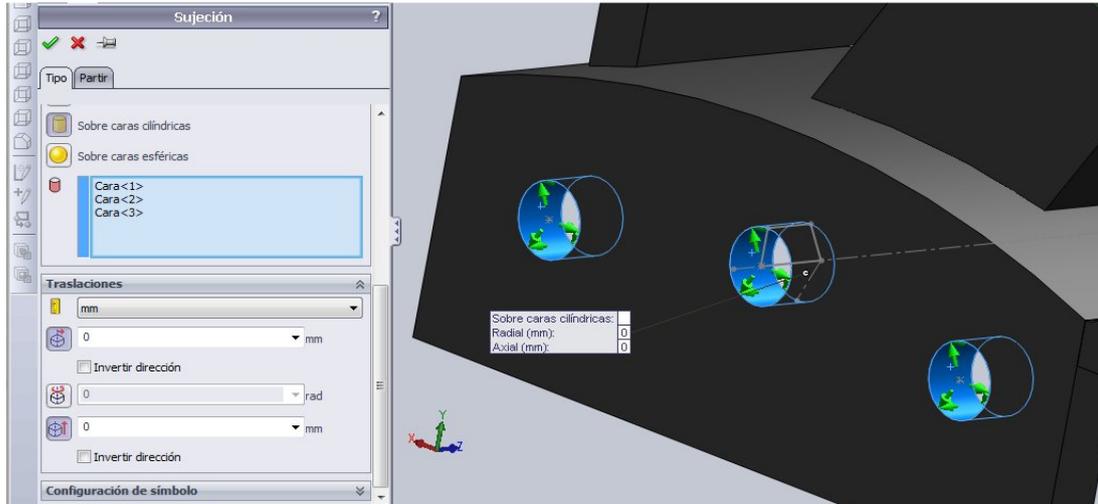


Fig. 22 – Sujeciones sobre caras cilíndricas en SolidWorks

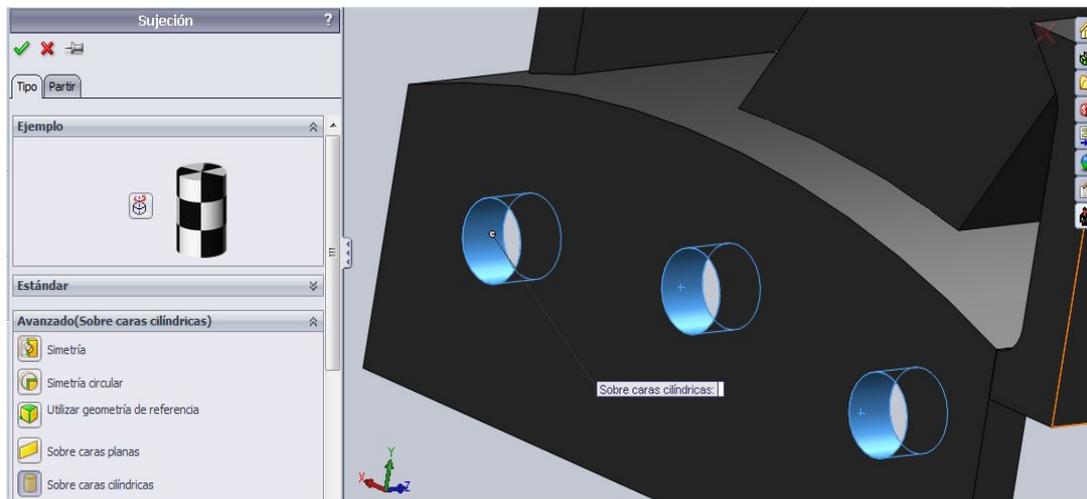


Fig. 23 – Imposición de movimientos en superficies de apoyo SolidWorks

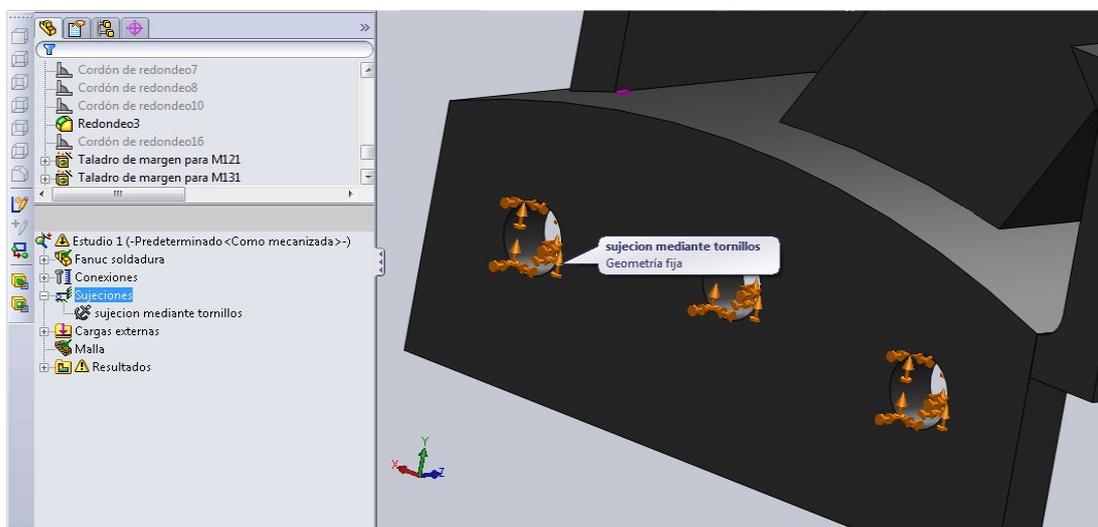


Fig. 24 – Designación tipo de sujeción en SolidWorks

5.1.4 CONDICIONES DE CARGA

Define todo el conjunto de solicitaciones a los que va a estar sometido cada soporte una vez instalados en los robots.

Conocidos los pesos de los componentes que forman el conjunto del robot y las geometrías de los mismos con los soportes instalados, se procede a buscar los tipos de esfuerzos y los valores con que actúan en cada soporte.

Para ello, como se ha explicado en el apartado anterior, se ha utilizado el programa de cálculo estructural AMEB, donde se han plasmado las geometrías de cada robot con sus cargas y condiciones de contorno que más se adecuan al objeto de estudio.

Las cargas a introducir para realizar el estudio serán:

ABB 6400			
Componente	Axil (Kp)	Cortante (Kp)	Resultante (Kp)
A6400-1	160	0	160
A6400-2	286	530	602
A6400-3	0	0	0
A6400-4	0	0	0
FANUC R-2000			
FR2000 (Arriba)	35	520	521
FR2000 (Abajo)	380	0	380
FANUC 420			
F420-1	332	411	528
F420-2	0	0	0
F420-3	721	0	721

Tabla 5 – Cargas a introducir en estudio

Para introducir las cargas en SolidWorks, clicando en el desplegable izquierdo, se selecciona la pestaña “Cargas externas”, pulsando el cursor derecho se abre la pestaña de “Cargas externas” → “Fuerza”, seleccionar la cara sobre las que actúa así como las unidades y poner su valor.

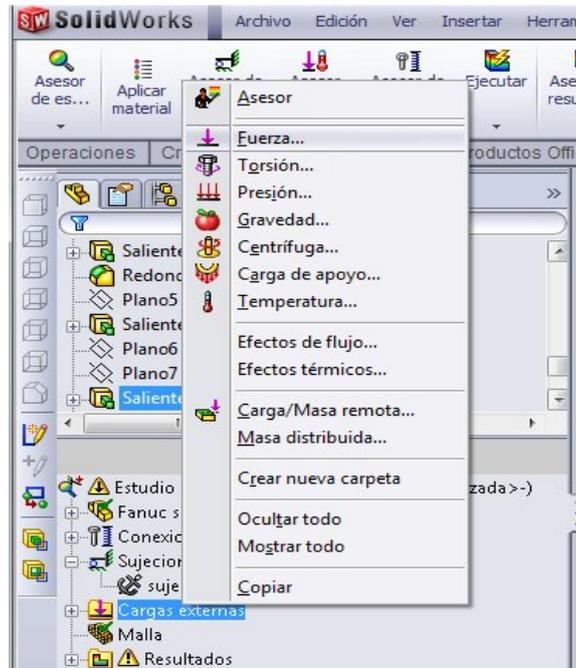


Fig. 25 – Menú cargas externas SolidWorks

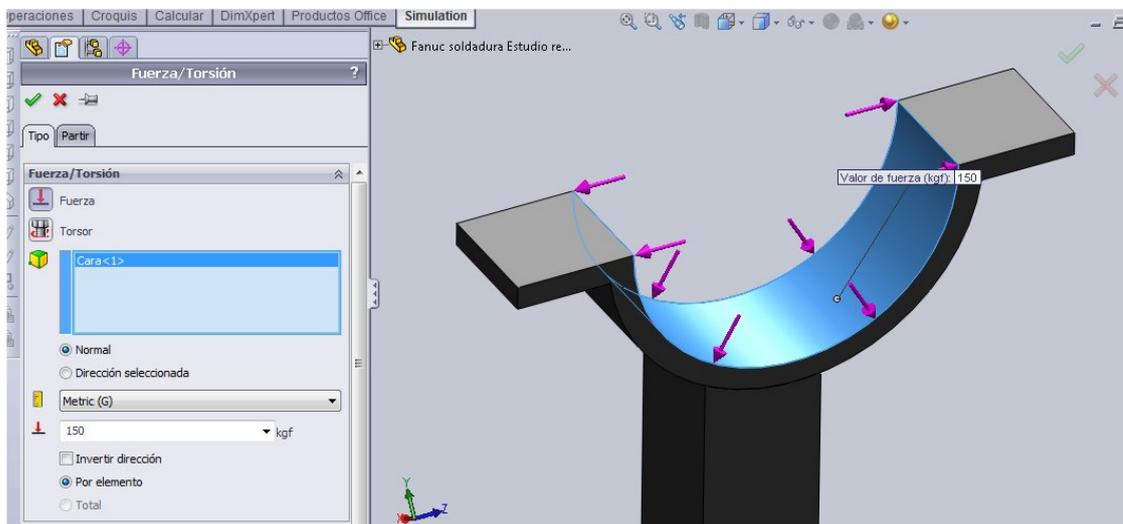


Fig. 26 – Designación de superficies y valor de la fuerza externa en SolidWorks

5.1.5 MALLADO DEL ELEMENTO

Una vez introducidos todos los datos anteriores, se lleva a cabo el mallado para poder ejecutar el estudio y así obtener los resultados.

SolidWorks desarrolla este estudio mediante el método de los elementos finitos, un método que da resultados bastante similares a la realidad, por esto, es un método muy extendido y utilizado en la industria.

Para el mallado, entre más densa sea esta, mejores resultados se obtienen en cuanto a precisión, para este estudio se realizara un mallado medio.

La creación de la malla en SolidWorks, se realiza clicando en el desplegable izquierdo seleccionando la pestaña “Malla”, pulsando el cursor derecho se abre la pestaña de “Crear malla”, elegir su densidad y clicar en ok.

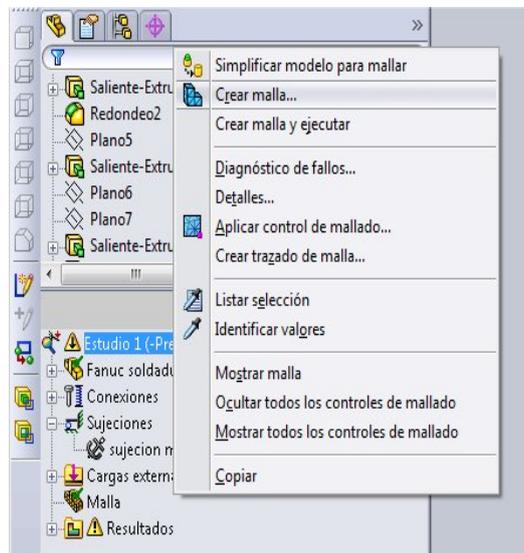


Fig. 27 – Menú mallado en SolidWorks



Fig. 28 – Configuración de la malla en SolidWorks

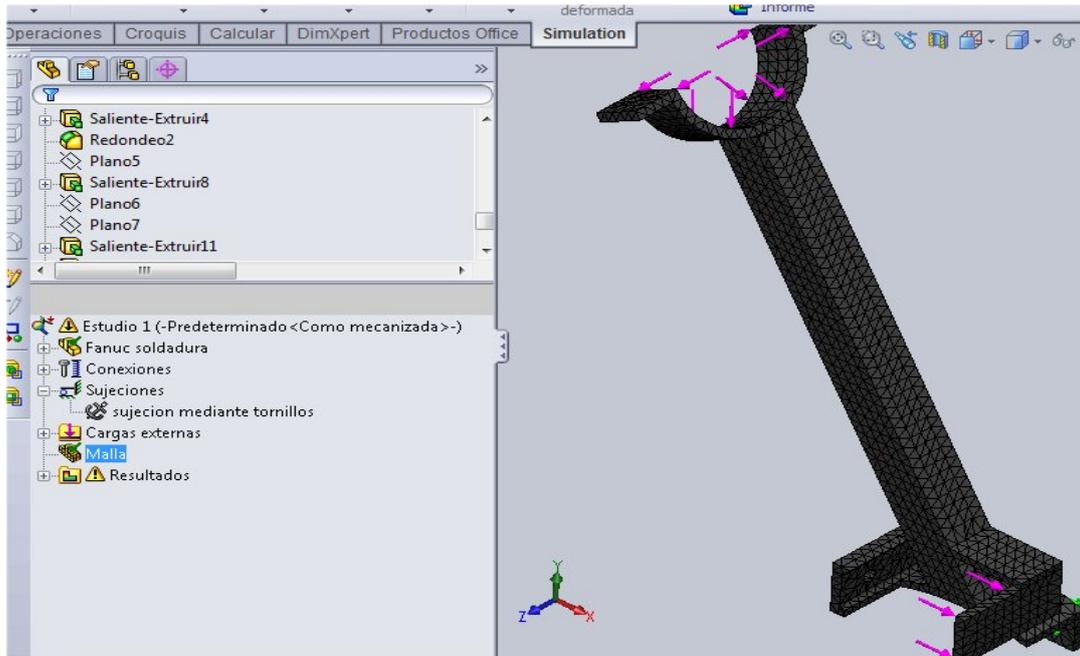


Fig. 29 – Mallado de elemento 3D en SolidWorks

5.1.6 EJECUTAR ESTUDIO

Realizados los pasos anteriores, en el menú de la figura 30, clicar en el icono “Ejecutar” para obtener los resultados del estudio en cuestión.



Fig. 30 – Menú estudio en SolidWorks.

Conocidos los esfuerzos y las zonas críticas de cada soporte tras realizar el estudio estático, se entrara en la tercera y última fase del proyecto.

6 REDISEÑO, OPTIMIZACIÓN Y ESTUDIO DEL MODELO INICIAL.

Tras realizar el estudio, se procede al rediseño de los modelos iniciales mediante el programa de CAD SolidWorks.

6.1 CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN

Dicha reducción no se ha hecho “a la ligera”, ya que al tratarse de unos elementos que forman parte del conjunto del robot, hay que respetar las geometrías de amarre soporte – robot.

Por ello, las modificaciones geométricas NO deben afectar las geometrías de amarre.

Al tener ya creados los modelos de partida, se ha procedido a eliminar material en aquellos puntos en los que la tensión era despreciable frente a los puntos críticos de carga, a fin de reducir el peso y volumen de los soportes iniciales.

6.2 CRITERIOS DE REDISEÑO

Para poder analizar el modelo y todas las piezas que lo componen hay que basarse en determinados criterios, los cuales serán explicados detenidamente en este apartado.

Analizados, rediseñados y sabidas las condiciones de carga de los soportes, para darlos por aptos o no aptos, se utilizara como criterio de fallo la teoría de cortadura máxima, criterio de Tresca.

Se ha optado por esta teoría por dos razones fundamentales:

- El material utilizado en los soportes es dúctil.
- Es más conservador que otros criterios para materiales dúctiles.

Esta teoría predice que el fallo de un material se producirá cuando la tensión de cortadura máxima absoluta (τ_{\max}) alcance la tensión que provoca que el material ceda en una prueba de tensión simple.

Con lo anteriormente mencionado, queda:

$$CS = \frac{\sigma_{\text{FLUENCIA}}}{2 \times \tau_{\text{TRABAJO}}}$$

Donde:

- τ_{TRABAJO} , es la tensión cortante máxima a la que trabaja el elemento evaluado.

$$\tau_{\text{TRABAJO}} = \frac{\sigma_{x,\text{max}}}{2}$$

- σ_{FLUENCIA} , es el límite elástico del material.

Si se aplican tensiones superiores a este límite, el material experimenta deformaciones permanentes y no recupera su forma original al retirar las cargas.

En general, un material sometido a tensiones inferiores a su límite elástico es deformado temporalmente de acuerdo con la ley de Hooke, el cual se obtiene mediante ensayos mecánicos.

El material que se ha escogido para el modelado de los soportes es Acero E-295 cuyo límite elástico es de 275 MPa.

Se ha determinado un coeficiente de seguridad mayor o igual a 2, a fin de evitar posibles daños personales o en la máquina.

En el caso de que el soporte no cumpliera esta especificación, sería necesario efectuar un rediseño de esa pieza añadiendo material o suprimiendo concentradores de tensiones como aristas vivas, etc.

Finalmente, para aceptar o no un modelo de soporte, se tendrán en cuenta los siguientes requisitos:

REQUISITO	OK	NOK
Coeficiente seguridad	≥ 2	< 2
Desplazamiento (mm)	≤ 1	> 1

Tabla 6 – Criterios de diseño soportes.

6.3 MODELOS FINALES

6.3.1 ABB 6400

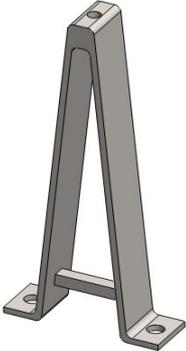
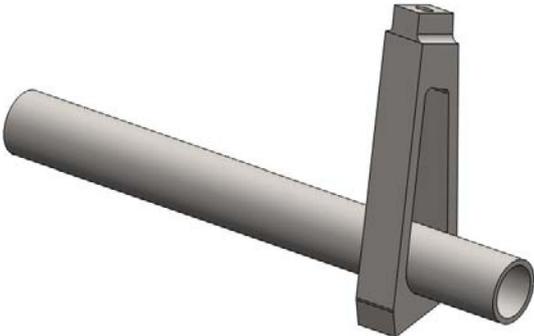
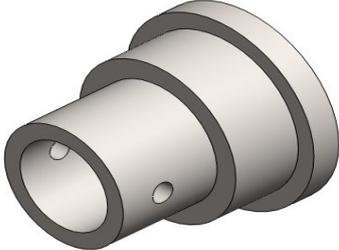
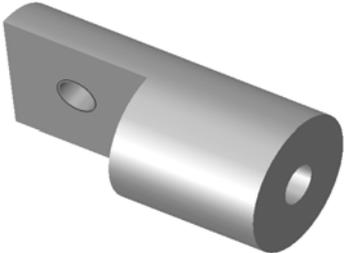
COMPONENTE	MODELO CON SOLIDWORKS	NUMERO DE PIEZAS
A6400-1		1
A6400-2		1
A6400-3		2
A6400-4		1

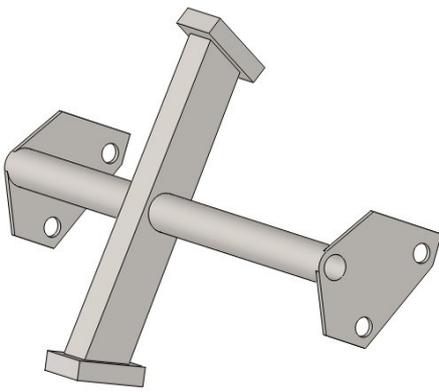
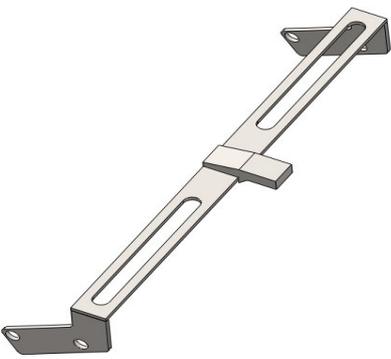
Fig. 31 – Modelos finales ABB 6400

6.3.2 FANUC R-2000IA

COMPONENTE	MODELO CON SOLIDWORKS	NUMERO DE PIEZAS
FR2000		1

Fig. 32 – Modelos finales FANUC R-2000iA

6.3.3 FANUC 420- SW

COMPONENTE	MODELO CON SOLIDWORKS	NUMERO DE PIEZAS
F420-1		1
F420-2		1

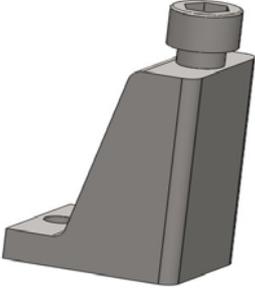
COMPONENTE	MODELO CON SOLIDWORKS	NUMERO DE PIEZAS
F420-3		1

Fig. 33 – Modelos finales FANUC 420-SW

6.4 ESTUDIO DE LOS NUEVOS MODELOS

Los pasos para realizar el estudio a los nuevos soportes, serán los mismos utilizados que en el apartado 5.1.

Se evaluarán detenidamente los criterios impuestos buscando que se cumplan se cumplan al 100 % los objetivos propuestos.

7 METODOLOGIA DEL CALCULO ESTATICO

Para conocer los esfuerzos y tensiones que actúan en cada soporte, se ha utilizado el método de los elementos finitos.

El Método de los Elementos Finitos (MEF) es un método numérico utilizado para resolver sistemas de ecuaciones diferenciales.

Su evolución y desarrollo desde mediados del siglo XX hasta nuestros días ha sido constante y en la actualidad puede considerarse como el método numérico más utilizado en la mayoría de los ámbitos de la ingeniería para determinar la distribución de tensiones y deformaciones en un material elástico.

Los casos particulares de dichos problemas pueden variar desde problemas bidimensionales de tensión o deformación plana, sólidos de revolución y flexión de placas y láminas, hasta el análisis más general de sólidos tridimensionales.

El MEF consiste en la división del dominio espacial, ya sea uni, bi o tridimensional en una serie de subdominios de geometría simple, a los cuales se les denomina elementos.

Estos elementos se encuentran formados por una serie de puntos que definen su geometría y se denominan nodos. En el interior de cada elemento se interpola una función de desplazamientos que se formula en función de los valores de los desplazamientos que existen en los nodos.

La forma de trabajo de estos elementos consiste en aplicar las ecuaciones de compatibilidad y comportamiento para obtener una relación entre la fuerza aplicada sobre los elementos y los desplazamientos de los nodos.

Dependiendo del tipo de formulación del problema se determina si el problema es lineal (elasticidad lineal) o si no es lineal (grandes desplazamientos o deformaciones, comportamiento del material complejo).

El proceso de cálculo se realiza mediante los siguientes pasos:

- Planteamiento de continuidad de desplazamientos y equilibrio de fuerza entre elementos.
- Sistema de ecuaciones globales de la estructura.
- Tipo de formulación inicial (lineal o no lineal).
- Resolución.
- Obtención de los desplazamientos nodales (incógnitas básicas).
- Obtención de otras variables: deformaciones y tensiones.

8 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS ESTÁTICOS

En este apartado, se representarán los estudios estáticos realizados a cada soporte, primero se estudiará el modelo inicial de cada soporte y posteriormente su rediseño.

El material utilizado para todos los componentes y por lo tanto para las simulaciones ha sido el acero E-295, mencionado anteriormente.

Las tablas adjuntas en este apartado, muestran los resultados obtenidos en la siguiente distribución.

MODELO	
MALLADO DEL MODELO	DISTRIBUCION DE TENSIONES
DISTRIBUCION DE DEZPLAZAMIENTOS	COEFICIENTE DE SEGURIDAD

Tabla 7- Distribución de los resultados

Los resultados obtenidos servirán para tener una noción de las sollicitaciones mecánicas actuantes sobre la estructura de los soportes proporcionando valores representativos de la distribución de tensiones y desplazamientos.

El coeficiente de seguridad para cada componente tendrá que ser mayor a 2, en las figuras adjuntas, este se ha evaluado para que aparezcan de color ROJO las zonas donde no se cumple esta especificación, y de color AZUL para las zonas que se la cumplen.

Finalmente se adjuntará una tabla con los datos y comparativas más relevantes de cada soporte.

8.1 ROBOT ABB 6400

8.1.1 COMPONENTE A6400-1

MODELO INICIAL

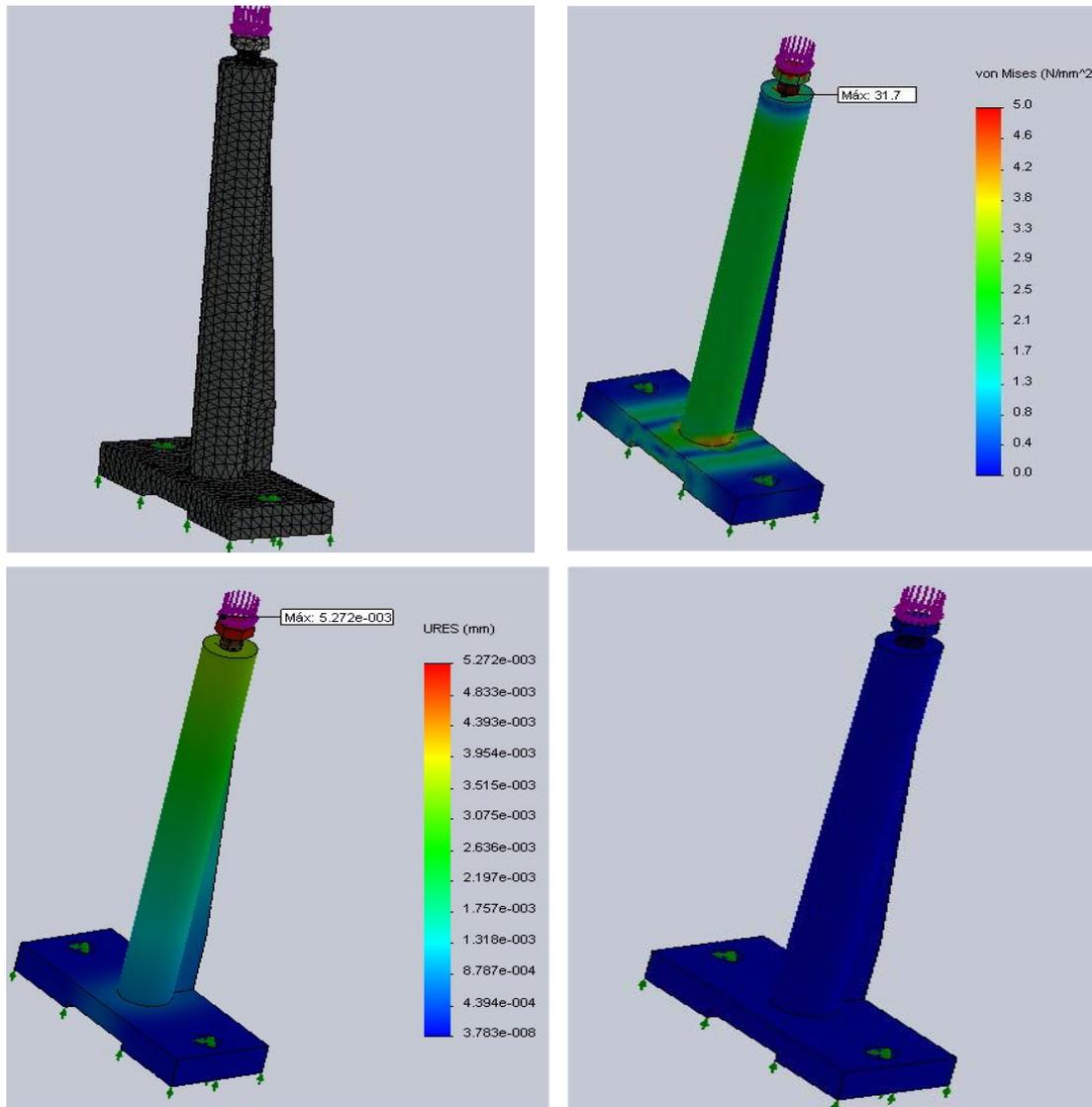


Fig. 34 – Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo inicial A6400-1.

La tensión máxima aparece en la cabeza del tornillo (31.7 MPa) y se distribuye a lo largo del perfil redondo, posteriormente en la unión con la base se da una tensión de 5 MPa cuando la media de la distribución de tensiones es de 2.9 MPa. Se observa que el nervio no tiene ningún tipo de sollicitación.

En cuando a los desplazamientos, la sección más solicitada vuelve a ser la cabeza del tornillo (0.0057 mm).

El factor de seguridad mayor a 2, se cumple para toda la pieza, en la imagen inferior derecha se observa que toda la geometría está completamente pintada de color azul.

MODELO FINAL

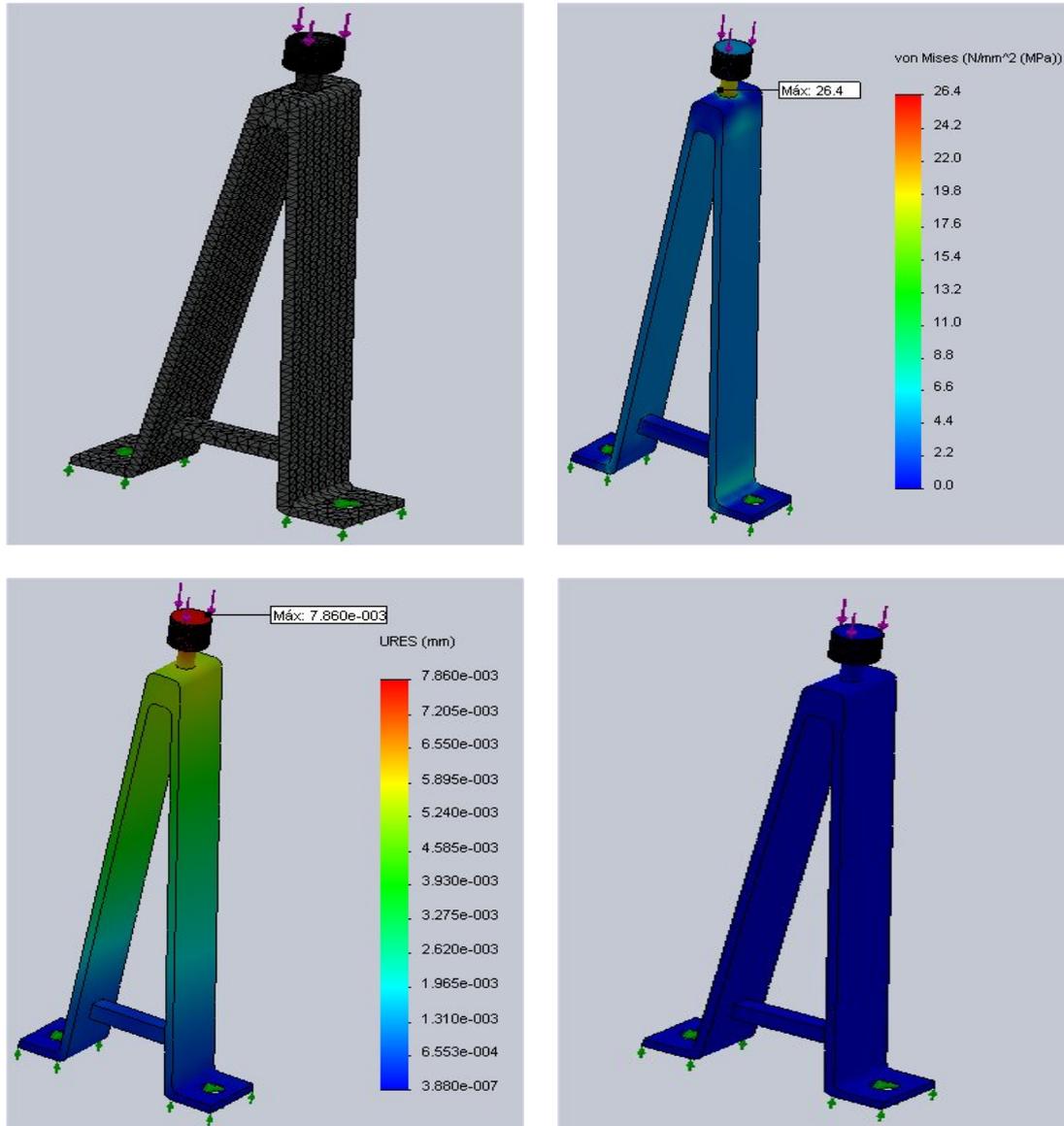


Fig. 35 – Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo rediseño A6400-1.

Se ha eliminado el perfil circular y la base rectangular a fin de ahorrar en peso, aunque también teniendo siempre presentes los criterios de rediseño, se ha logrado disminuir las tensiones máximas, viéndose el desplazamiento aumentado de forma que no altere a la estructura y que se siga bajo los criterios impuestos.

La tensión máxima aparece en el cuerpo del tornillo (26.4 MPa) y se distribuye uniformemente a lo largo del perfil, posteriormente en el pliegue del perfil, se da una tensión de 7.1 MPa cuando la media de la distribución de tensiones es

aproximadamente de 6.1 MPa. Se observa que el perfil cuadrado insertado entre las dos chapas, tiene una sollicitación despreciable.

En cuando a los desplazamientos, la sección más solicitada vuelve a ser la cabeza del tornillo (0.0078 mm).

El factor de seguridad mayor a 2, se cumple para toda la pieza, en la imagen inferior derecha se observa que toda la geometría está completamente pintada de color azul.

8.1.2 COMPONENTE A6400-2

MODELO INICIAL

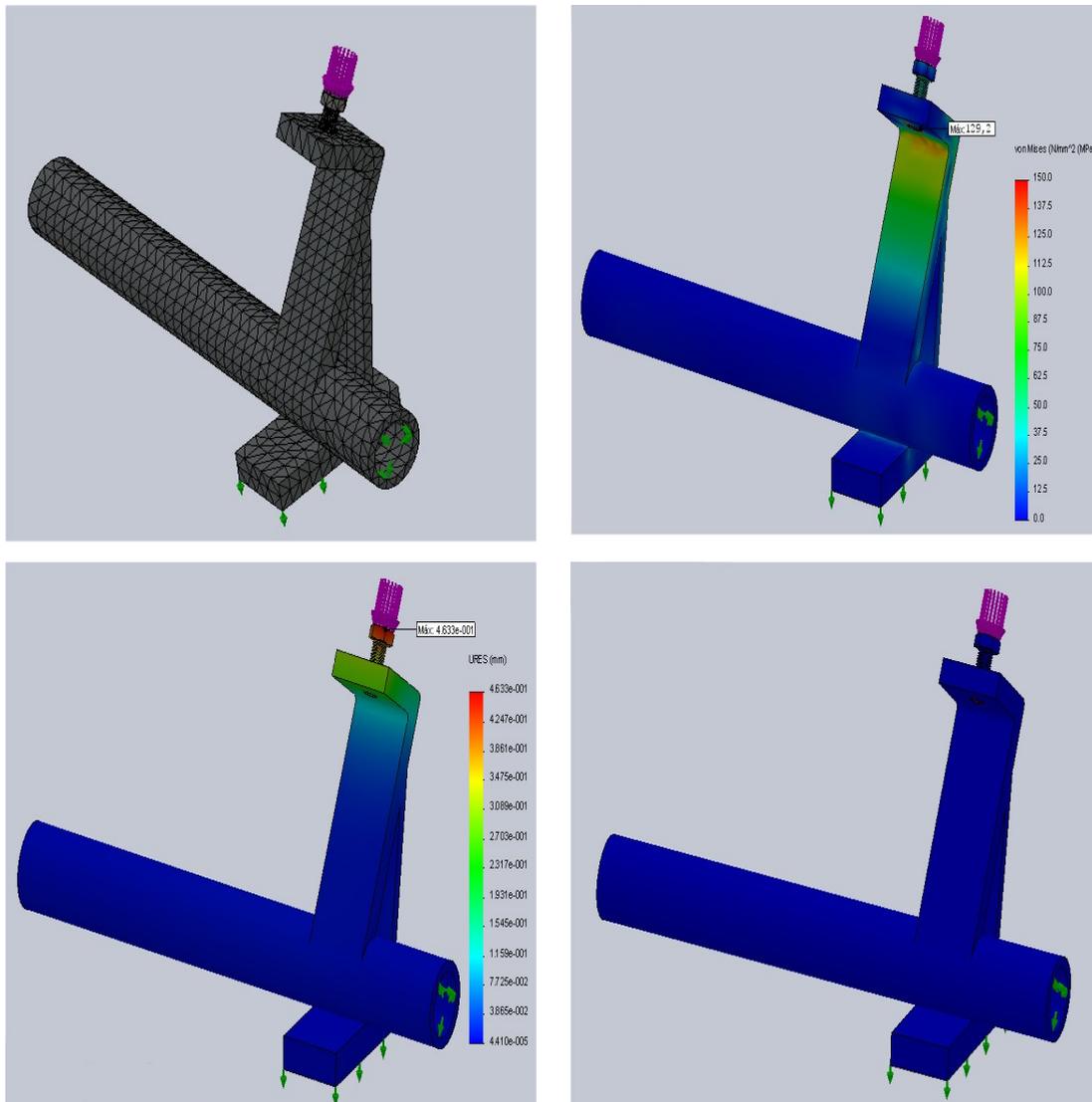


Fig. 36 – Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo inicial A6400-2.

La tensión máxima aparece en la unión atornillada (129.2 MPa) y se distribuye uniformemente a lo largo del perfil. En el pliegue del perfil, se da una tensión de

120 MPa cuando la media de la distribución de tensiones es aproximadamente de 76 MPa. Se observa que el perfil redondo tiene una sollicitación despreciable ningún tipo de sollicitación.

En cuando a los desplazamientos, la sección más sollicitada vuelve a ser la cabeza del tornillo (0.53 mm) y el voladizo con una deformación aproximada de (0.27 mm).

El factor de seguridad mayor a 2, se cumple para toda la pieza, en la imagen inferior derecha se observa que toda la geometría está completamente pintada de color azul.

MODELO FINAL

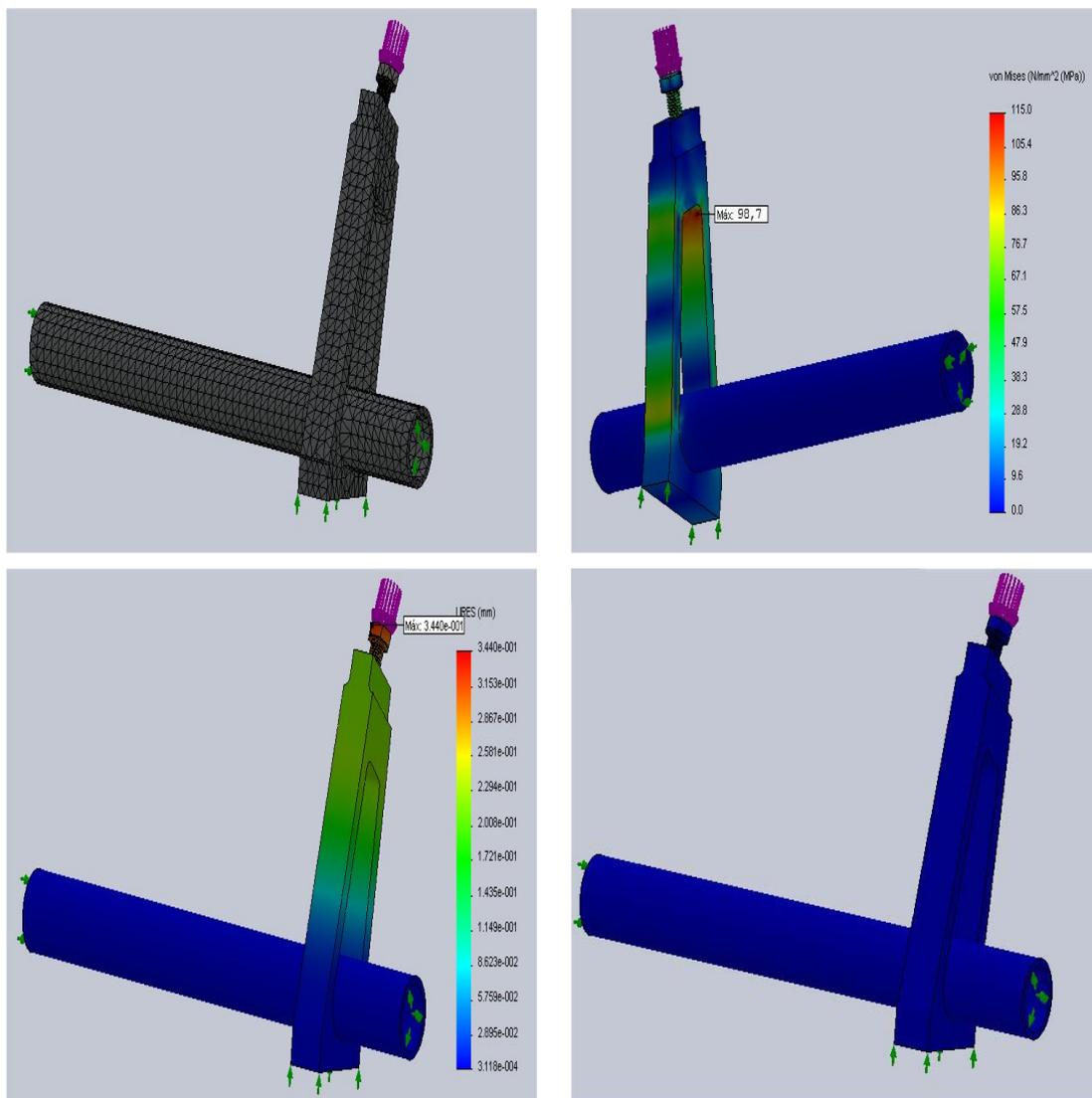


Fig. 37 – Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo rediseño A6400-2.

La tensión máxima aparece en la parte interior del perfil inclinado (98.7 MPa) y se distribuye uniformemente a lo largo del perfil con un valor aproximado de 70 MPa.

Se observa que el perfil redondo tiene una sollicitación despreciable ningún tipo de sollicitación.

En cuando a los desplazamientos, la sección más solicitada vuelve a ser la cabeza del tornillo (0.34 mm) y la parte superior del perfil inclinado con una deformación aproximada de (0.20 mm).

El factor de seguridad mayor a 2, se cumple para toda la pieza, en la imagen inferior derecha se observa que toda la geometría está completamente pintada de color azul.

8.1.3 COMPONENTE A6400-3

MODELO INICIAL

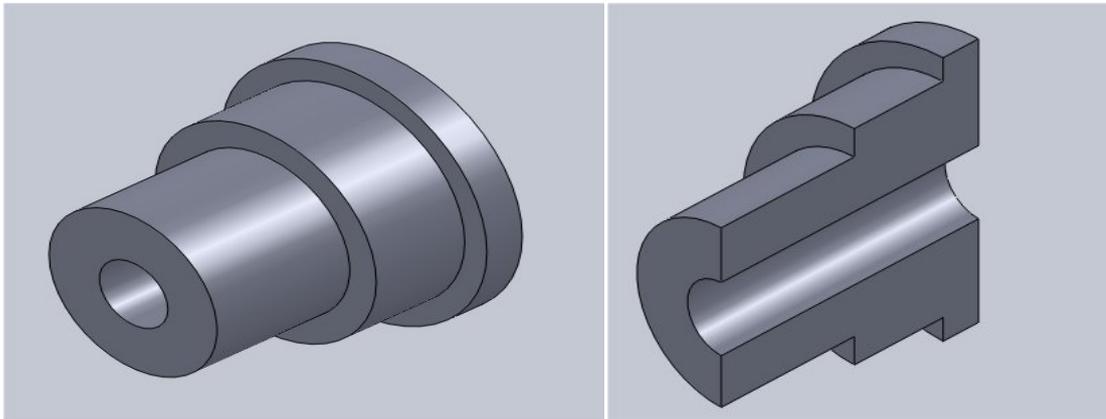


Fig. 38 – Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo inicial A6400-3.

MODELO FINAL

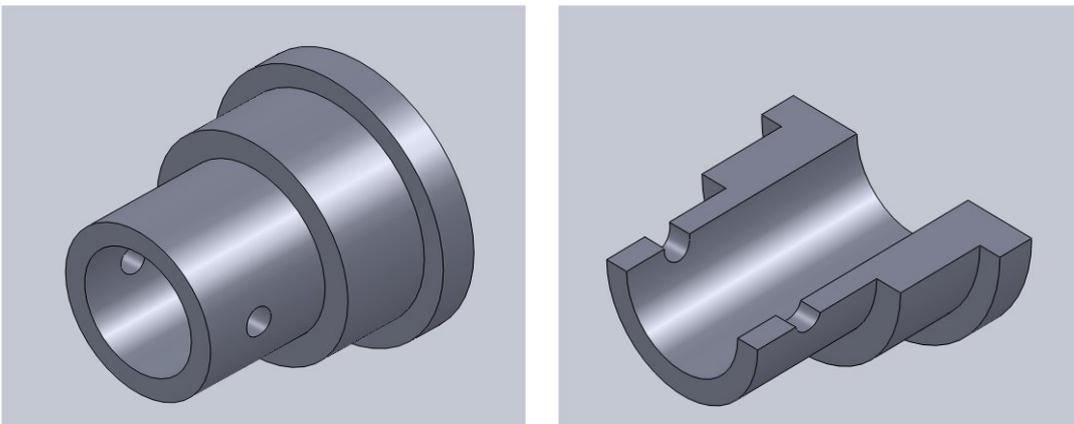


Fig. 39– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo rediseño A6400-3.

Al no tener ninguna sollicitación, este componente se ha modificado principalmente para que tenga una buena conexión mediante pasadores con el componente A6400-2 además de horrar en peso y material.

8.1.4 COMPONENTE A6400-4

MODELO INICIAL Y FINAL

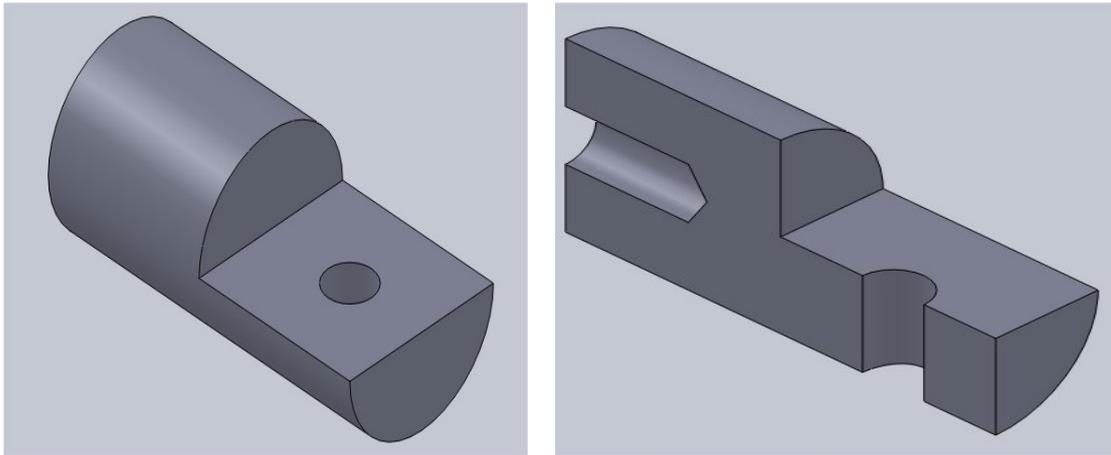


Fig. 40– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo inicial A6400-4.

No ha tenido modificación alguna, no presenta ningún tipo de sollicitación.

8.1.5 RESUMEN DEL ESTUDIO

ABB 6400			
A6400-1	Modelo inicial	Modelo final	%
Peso (Kg)	2,8	1,05	-62,50
Tensión Máxima (MPa)	31,7	26,4	-16,72
Desplazamiento Max. (Mm)	0,0052	0,0078	50,00
Coefficiente seguridad	>2	>2	N/A

A6400-2	Modelo inicial	Modelo final	%
Peso (Kg)	8,03	3	-62,64
Tensión Máxima (MPa)	129,02	98,7	-23,50
Desplazamiento Max. (Mm)	0,4633	0,344	-25,75
Coefficiente seguridad	>2	>2	N/A

A6400-3	Modelo inicial	Modelo final	
Peso (Kg)	0,67	0,47	-29,85
Tensión Máxima (MPa)	N/A	N/A	N/A
Desplazamiento Max. (Mm)	N/A	N/A	N/A
Coefficiente seguridad	N/A	N/A	N/A

A6400-4	Modelo inicial	Modelo final	
Peso (Kg)	1,14	N/A	N/A
Tensión Máxima (MPa)	N/A	N/A	N/A
Desplazamiento Max. (Mm)	N/A	N/A	N/A
Coefficiente seguridad	N/A	N/A	N/A

Tabla 8 – Resumen estudio ABB 6400

8.2 FANUC 2000IA

8.2.1 COMPONENTE FR-2000

MODELO INICIAL

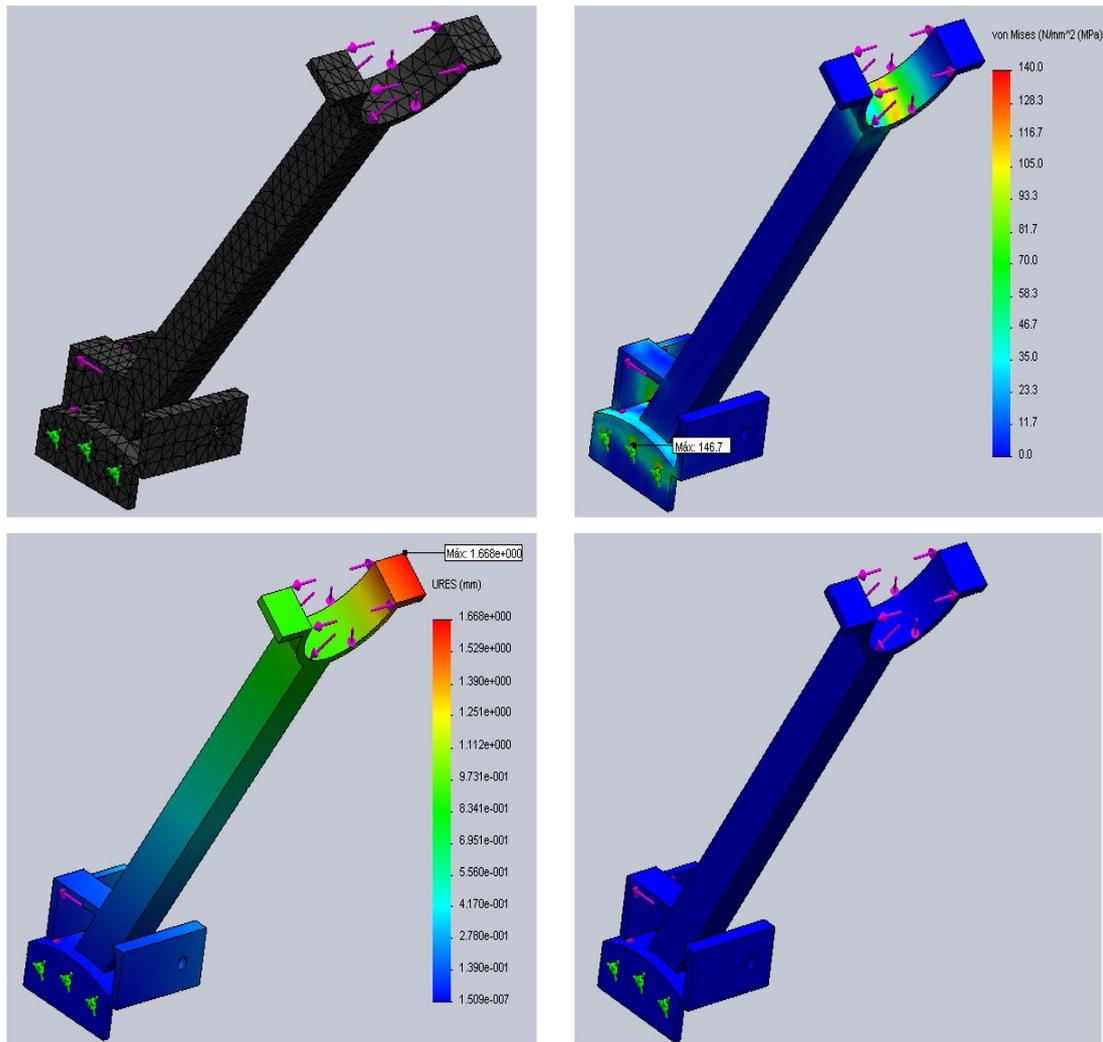


Fig. 41– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo inicial FR-2000.

La tensión máxima aparece en la cara cilíndrica del taladro central realizado para el amarre del soporte a la estructura del robot (146.7 MPa), se distribuye uniformemente a lo largo de la base hasta el saliente anterior con un valor aproximado de 52 MPa, el saliente posterior no tiene ninguna tensión y el perfil cuadro solo tiene tensiones en sus extremos, siendo estas mayores en la parte superior, más concretamente en la unión con el arco donde se observan tensiones máximas de 105 MPa aproximadamente.

En cuando a los desplazamientos, la sección más solicitada es el extremo derecho del arco (1.68 mm), incumpliendo las condiciones de diseño especificadas anteriormente.

El factor de seguridad mayor a 2, se cumple para toda la pieza, en la imagen inferior derecha se observa que toda la geometría está completamente pintada de color azul.

MODELO FINAL

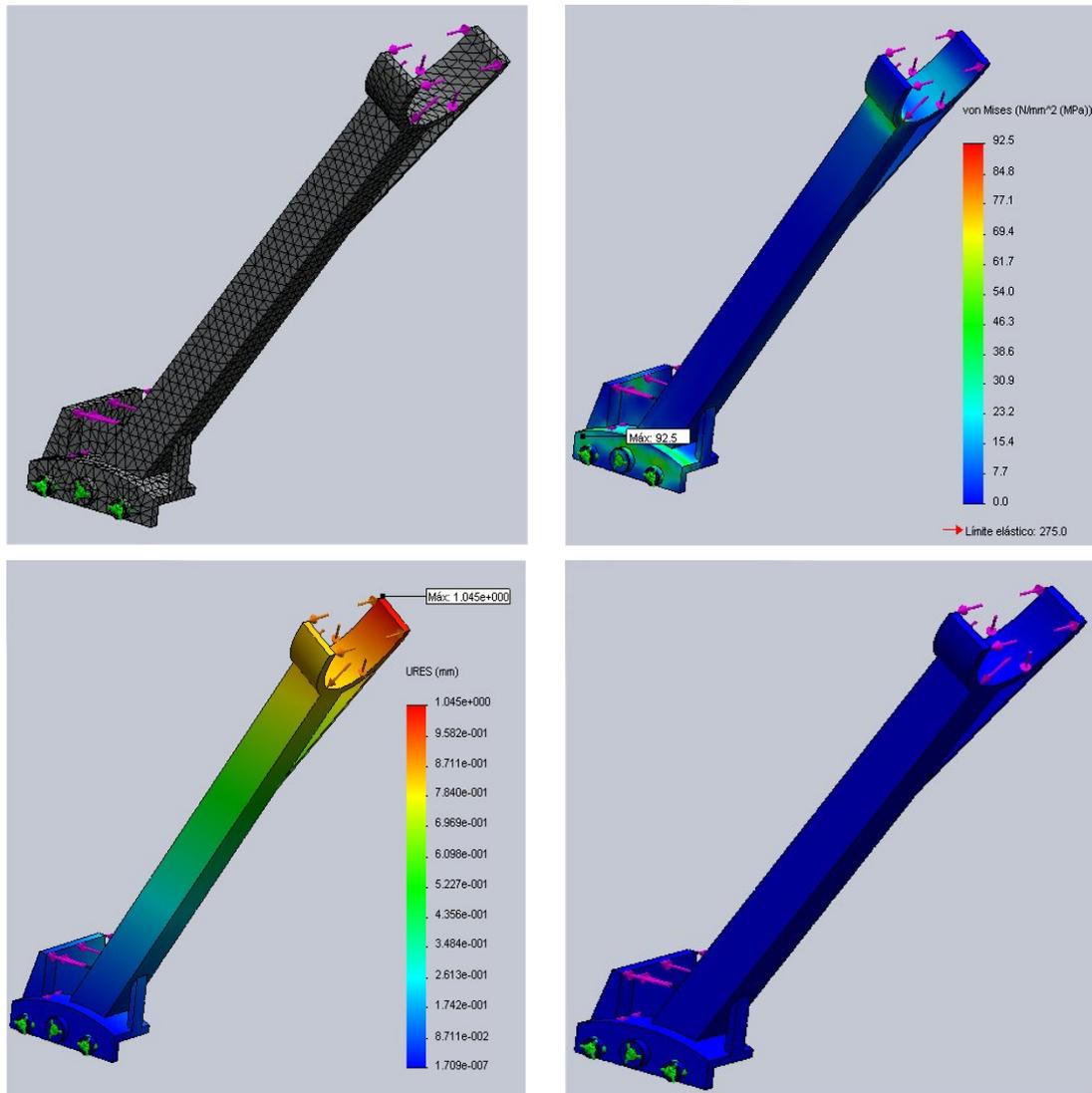


Fig. 42– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo final FR-2000.

Se ha eliminado el saliente posterior adema de haber reforzado el saliente anterior, también, en los puntos de amarre, se ha optado por hacer salientes circulares a fin de disminuir las tensiones producidas en dichos puntos; también se ha insertado una chapa de 8 mm de espesor que va desde el brazo rectangular hasta el extremo derecho del arco, a fin de reducir el desplazamiento en dicho punto.

La tensión máxima aparece en la cara lateral del soporte de la base (92.5 MPa), se distribuye uniformemente a lo largo de la base hasta el saliente anterior con un valor aproximado de 30 MPa, el perfil cuadro solo tiene tensiones en sus extremos, siendo estas mayores en la parte superior, más concretamente en la unión con el arco donde se observan tensiones máximas de 40 MPa aproximadamente.

En cuando a los desplazamientos, la sección más solicitada es el extremo derecho del arco (1 mm), gracias a la chapa metálica insertada en el lateral, se ha conseguido disminuir el desplazamiento hasta el valor impuesto en las condiciones de diseño.

El factor de seguridad mayor a 2, se cumple para toda la pieza, en la imagen inferior derecha se observa que toda la geometría está completamente pintada de color azul.

8.2.2 RESUMEN DEL ESTUDIO

FANUC R-2000iA			
FR2000	Antes estudio	Después estudio	%
Peso (Kg)	7,46	6,86	-8,04
Tensión Máxima (MPa)	146,7	92,5	-0,45
Desplazamiento Max. (Mm)	1,66	1,00	-39,78
Coefficiente seguridad	>2	>2	N/A

Tabla 9 – Resumen estudio FANUC R2000iA

8.3 FANUC S-420 SW

8.3.1 COMPONENTE F420-1

MODELO REDISEÑO

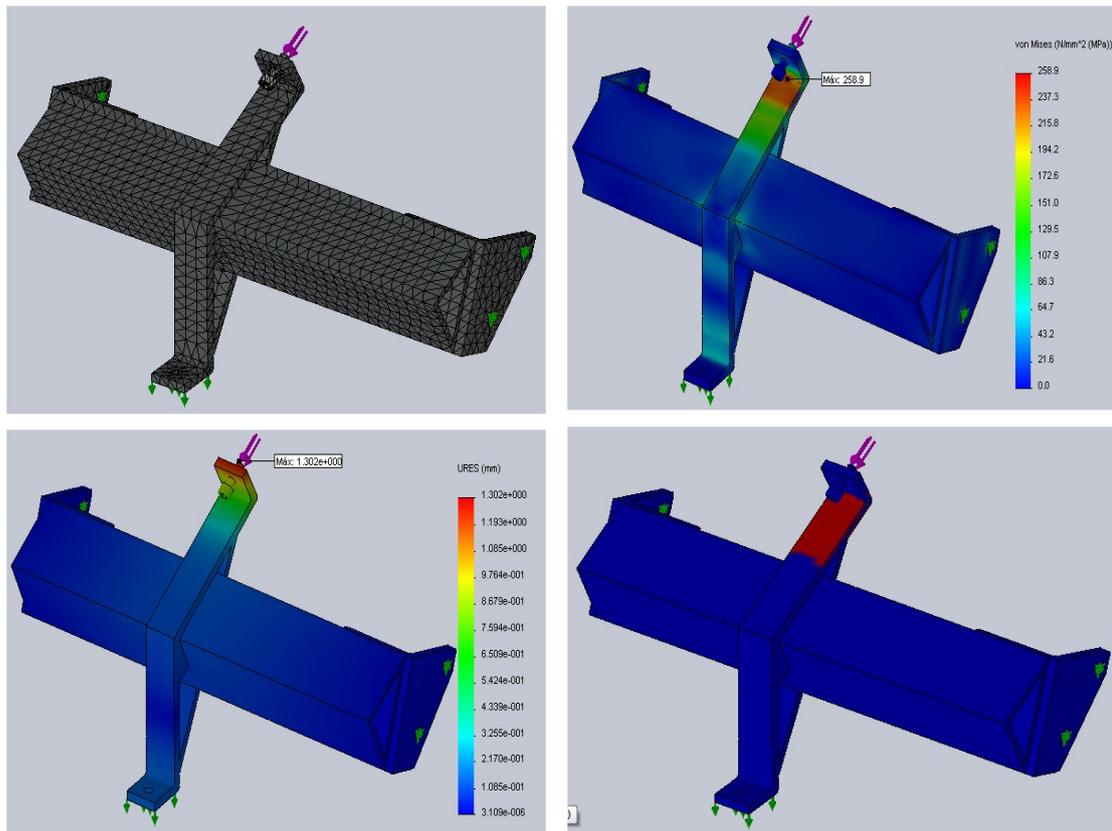


Fig. 43– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo inicial F420-1.

La tensión máxima aparece en el pliegue de la unión atornillada con un valor de (258.3 MPa), se distribuye uniformemente a lo largo del perfil hasta la unión con la cara inclinada, con un valor medio aproximado de 150MPa. El otro saliente, que sirve de apoyo también presenta ciertas sollicitaciones pero mucho menores a las anteriores (64.5 MPa). El resto de elementos estructurales de este soporte, apenas tienen estados de tensión.

En cuando a los desplazamientos, la sección más solicitada es el extremo del pliegue donde se sustenta la unión atornillada (1.30 mm), un desplazamiento que es intolerable para los criterios de diseño impuestos.

En se observa en la figura relativa a el coeficiente de seguridad, hay una zona de color rojo, que notifica un coeficiente de seguridad menor a 2, no cumpliendo así las especificaciones de diseño. El resto de componentes al estar en color azul, si cumplen con este criterio.

MODELO FINAL

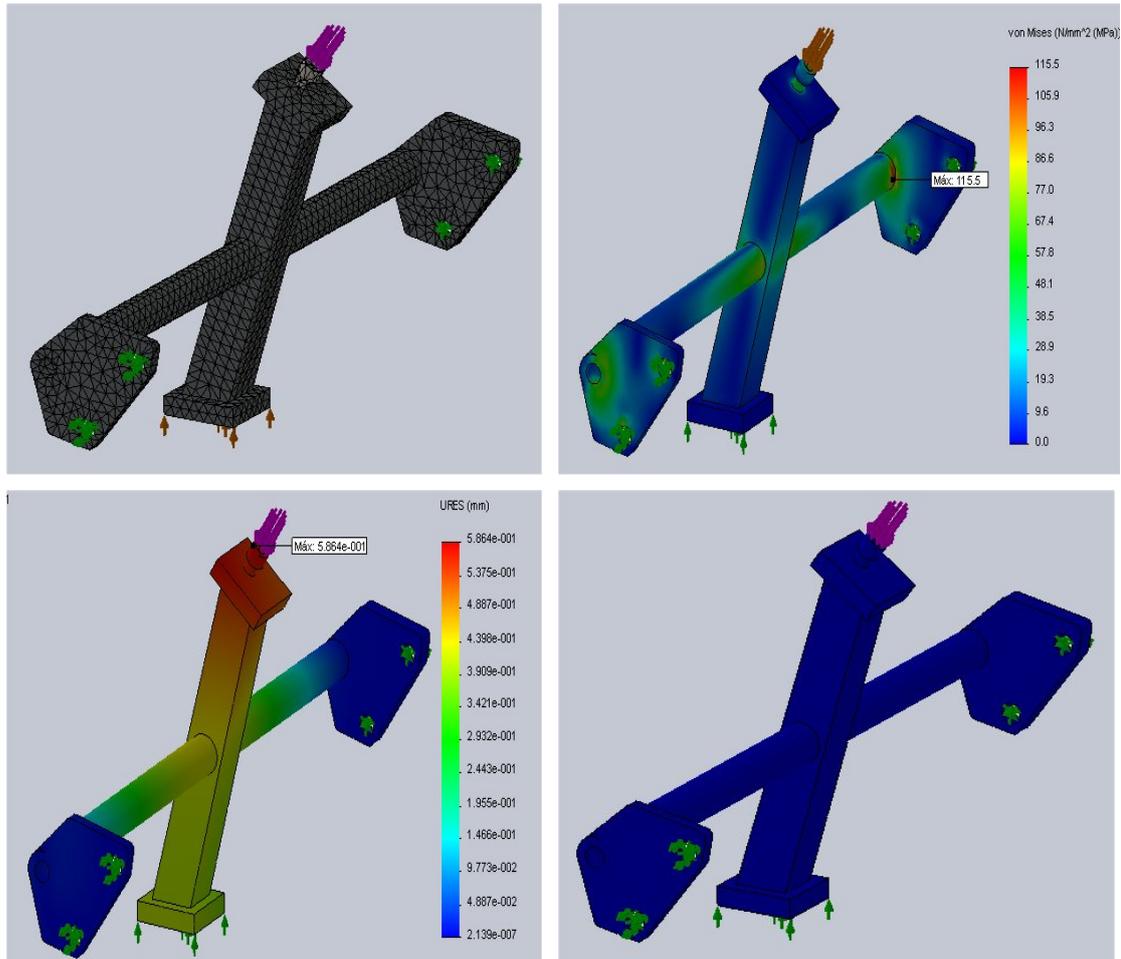


Fig. 44– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo final F420-1.

Se ha eliminado la estructura triangular hueca además de la chapa metálica que iba de extremo superior a extremo inferior ya que presentaban un estado de cargas bastante elevado, se ha optado por introducir un perfil cuadrado macizo, disminuyendo así las tensiones y el desplazamiento considerablemente.

La tensión máxima se produce en la unión del perfil circular con las orejeras de amarre (115.5 MPa), en determinadas zonas de la estructura, más concretamente en las uniones de los perfiles con distinta geometría, aparecen varios estados de tensiones comprendidos entre 45 y 65 MPa.

En cuanto a los desplazamientos, la sección más solicitada es el extremo superior (0.58 mm).

El factor de seguridad mayor a 2, se cumple para toda la pieza, en la imagen inferior derecha se observa que toda la geometría está completamente pintada de color azul.

8.3.2 COMPONENTE F420-2

MODELO INICIAL

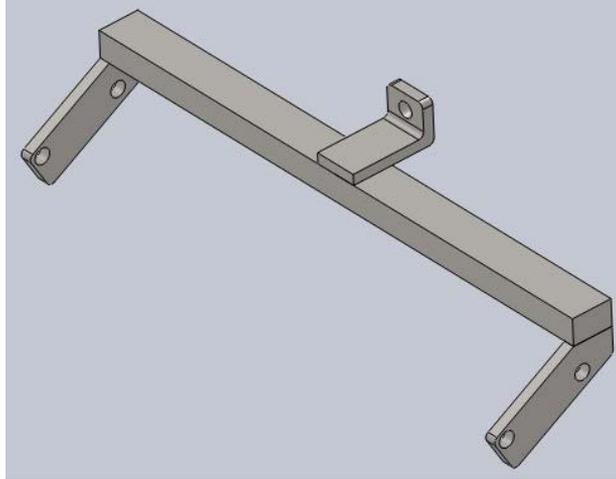


Fig. 45-Modelo inicial F420-2.

No presenta ningún tipo de sollicitación.

MODELO FINAL

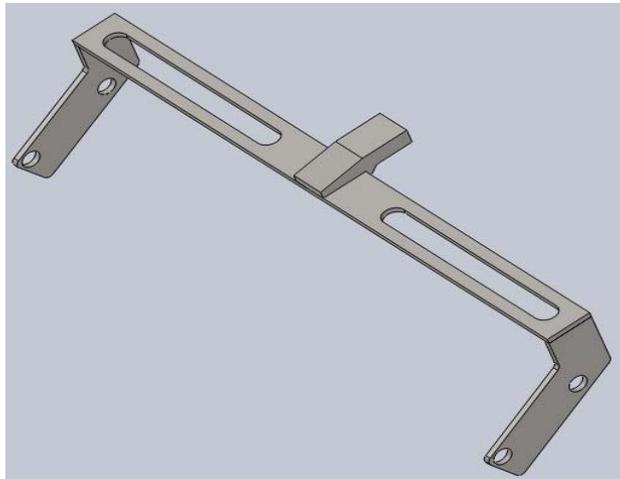


Fig. 46- Modelo final F420-2.

Al no tener ninguna sollicitación, se ha modificado principalmente para horrar en peso y material.

8.3.3 COMPONENTE F420-3

MODELO INICIAL

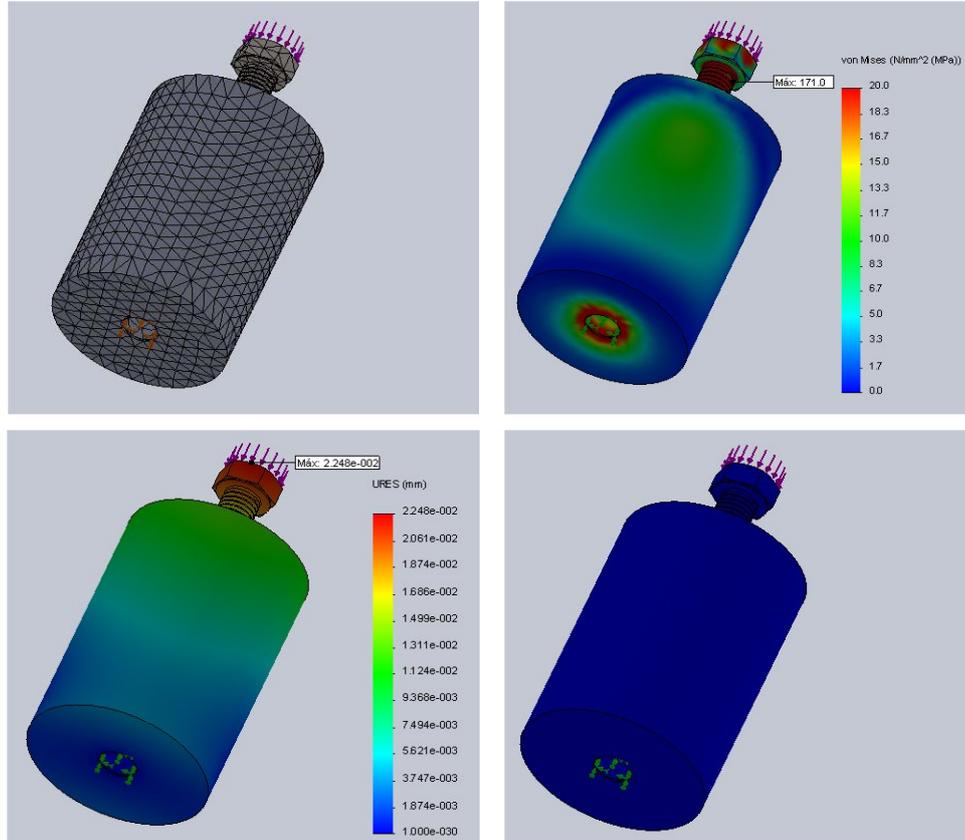


Fig. 47– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo inicial F420-3.

La tensión máxima se da en las zonas de amarre, tanto en la parte superior como en la inferior produce (171.0 MPa), en la cara cilíndrica se da una tensión de aproximadamente 12 MPa.

En cuando a los desplazamientos, la sección más solicitada es la cabeza del tornillo, lugar donde apoya el compensador del robot, su desplazamiento es de (0.022 mm).

El factor de seguridad mayor a 2, se cumple para toda la pieza, en la imagen inferior derecha se observa que toda la geometría está completamente pintada de color azul.

MODELO FINAL

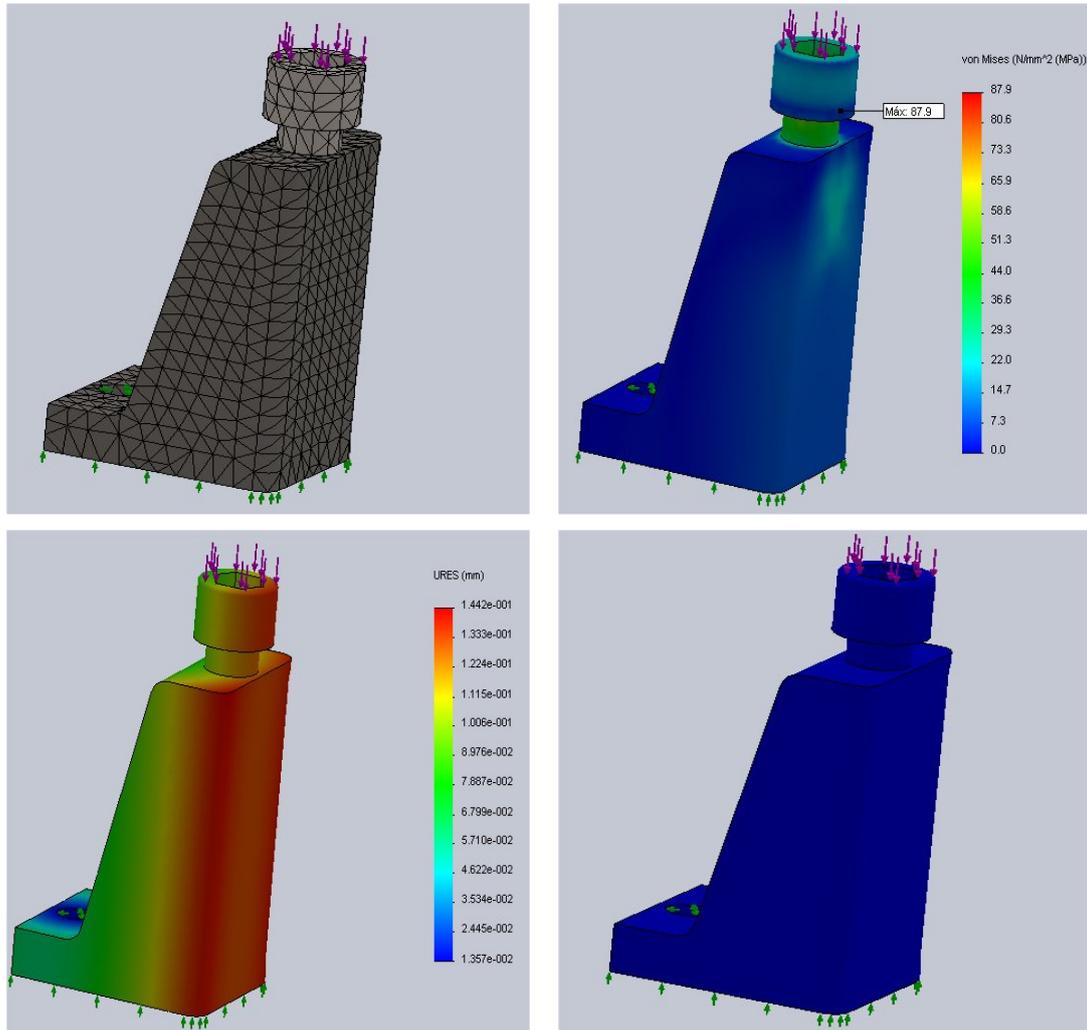


Fig. 48– Mallado, distribución de tensiones, desplazamientos y coeficiente seguridad en modelo final F420-3.

Eliminando el perfil circular, se ha conseguido una tensión bastante inferior en el amarre soporte-robot, y su estado de tensiones es mucho menor a lo largo de la geometría.

La tensión máxima se produce en la cabeza del tornillo (87.9 MPa), distribuyéndose a lo largo de la rosca con una tensión aproximada de 51.3 MPa y finalmente afectando muy poco al cuerpo del soporte, donde se da una tensión máxima focalizada en la zona posterior de aproximadamente 30 MPa.

En cuando a los desplazamientos, la sección más solicitada es la zona posterior (0.14 mm).

El factor de seguridad mayor a 2, se cumple para toda la pieza, en la imagen inferior derecha se observa que toda la geometría está completamente pintada de color azul.

8.3.4 RESUMEN DEL ESTUDIO

FANUC 420 SW			
F420-1	Modelo inicial	Modelo rediseño	%
Peso (Kg)	10,83	6,61	38,97
Tensión Máxima (MPa)	258,90	115,50	55,39
Desplazamiento Max. (Mm)	1,32	0,58	56,06
Coefficiente seguridad	<2	>2	N/A
F420 - 2	Modelo inicial	Modelo rediseño	%
Peso (Kg)	4,95	1,21	75,56
Tensión Máxima (MPa)	N/A	N/A	N/A
Desplazamiento Max. (Mm)	N/A	N/A	N/A
Coefficiente seguridad	N/A	N/A	N/A
F420-3	Modelo inicial	Modelo rediseño	%
Peso (Kg)	1,89	1,21	35,98
Tensión Máxima (MPa)	171,00	87,90	48,60
Desplazamiento Max. (Mm)	0,02	0,14	-536,36
Coefficiente seguridad	>2	>2	N/A

Tabla 10 – Resumen estudio FANUC 420SW

9 IMPACTO ECONOMICO

El impacto económico que tiene la utilización de estos soportes, va totalmente ligado al tiempo de paro de las líneas de producción.

Debido a que las líneas de producción trabajan en completa sincronía, es decir, si falta una pieza de la línea A, la línea B no puede continuar produciendo y así sucesivamente con el resto de líneas; por lo tanto, cuando se detiene la producción debido a un fallo mecánico de alguno de sus componentes, afecta directamente a las ganancias establecidas dentro de un intervalo de tiempo de producción.

Por lo cual, el tiempo utilizado para las reparaciones de las averías dadas en las líneas de producción ha de ser mínimo.

Con estos soportes, además de ganar tiempo en la reparación de averías, también se ahorra dinero en mano de obra directa e indirecta.

En la tabla adjunta, se muestra las diferencias realizando el cambio de un reductor o motor en robots con los soportes y sin los soportes.

- Coste de mantenimiento

CAMBIO DE REDUCTORES O MOTORES EN ROBOTS SIN SOPORTES				
	Numero de Operarios	Precios hora (€)	Tiempo operación mantenimiento (MIN)	Coste (€)
Mano de obra directa (promedio 3 turnos)	4	24,29	270	437,22
Mano de obra indirecta (promedio 3 turnos)	1	25,99	80	34,65
TOTAL				471,87

Tabla 11 – Coste mantenimiento sin soportes

CAMBIO DE REDUCTORES O MOTORES EN ROBOTS CON SOPORTES				
	Numero de Operarios	Precios hora (€)	Tiempo operación mantenimiento (MIN)	Coste (€)
Mano de obra directa (promedio 3 turnos)	4	24,29	18	29,15
Mano de obra indirecta (promedio 3 turnos)	0	25,99	0	0,00
TOTAL				29,15

Tabla 12 – Coste mantenimiento con soportes

- Perdidas por paro de línea
Para este análisis se han tomado tres líneas de producción (lateral Corsa, lateral Meriva y piso trasero Meriva) como ejemplo, a fin de destacar el enorme ahorro que supone el uso de estos soportes.

En la tabla adjunta, está el tiempo que tarda una línea en producir una unidad y el precio de la misma.

Línea	Tiempo ciclo (SEG)	Coste Ud. (€)
Lateral Corsa	47	132
Lateral Meriva	75	127
Piso trasero Meriva	80	380

Tabla 13 – datos líneas de producción

A continuación, se hace el análisis de datos de las líneas anteriormente nombradas, cuyo objeto es determinar el coste que le produce a la empresa el tener las líneas de producción detenidas mientras se realiza la operación de mantenimiento.

- Lateral Corsa

CAMBIO DE REDUCTORES O MOTORES EN ROBOTS SIN SOPORTES			
Tiempo operación mantenimiento (SEG)	Laterales NO producidos	Coste lateral (€)	Total NO producido (€)
16200	345	132,00	45.497,87

Tabla 14 – Coste perdidas no producción sin soportes Lat. Corsa.

CAMBIO DE REDUCTORES O MOTORES EN ROBOTS CON SOPORTES			
Tiempo operación mantenimiento (SEG)	Laterales NO producidos	Coste lateral(€)	Total NO producido (€)
1500	32	132,00	4.212,77

Tabla 15 – Coste perdidas no producción con soportes Lat. Corsa

▪ Resumen costes

	COSTE MANTENIMIENTO (€)	COSTE NO PRODUCCION (€)	COSTE TOTAL (€)	AHORRO PRODUCCION (€)
CAMBIO DE REDUCTORES O MOTORES EN ROBOTS CON SOPORTES	40,48	4.212,77	4.253,25	41.716,50
CAMBIO DE REDUCTORES O MOTORES EN ROBOTS SIN SOPORTES	471,87	45.497,87	45.969,75	

Tabla 16 – Resumen costes Lat. Corsa

- Lateral Meriva

CAMBIO DE REDUCTORES O MOTORES EN ROBOTS SIN SOPORTES			
Tiempo operación mantenimiento (SEG)	Laterales NO producidos	Coste lateral (€)	Total NO producido (€)
16200	216	127,00	27.432,00

Tabla 17 – Coste perdidas no producción sin soporte Lat. Meriva.

CAMBIO DE REDUCTORES O MOTORES EN ROBOTS CON SOPORTES			
Tiempo operación mantenimiento (SEG)	Laterales NO producidos	Coste lateral (€)	Total NO producido (€)
1500	20	127,00	2.540,00

Tabla 18 – Coste perdidas no producción con soportes Lat. Meriva.

▪ Resumen costes

	COSTE MANTENIMIENTO (€)	COSTE NO PRODUCCION (€)	COSTE TOTAL (€)	AHORRO PRODUCCION (€)
CAMBIO DE REDUCTORES O MOTORES EN ROBOTS CON SOPORTES	40,48	2.540,00	2.580,48	25.323,39
CAMBIO DE REDUCTORES O MOTORES EN ROBOTS SIN SOPORTES	471,87	27.432,00	27.903,87	

Tabla 19 – Coste perdidas no producción sin soportes

- Piso trasero Meriva

CAMBIO DE REDUCTORES O MOTORES EN ROBOTS SIN SOPORTES			
Tiempo operación mantenimiento (SEG)	Laterales NO producidos	Coste lateral (€)	Total NO producido (€)
16200	203	380,00	76.950,00

Tabla 20 – Coste perdidas no producción sin soportes Piso trasero Meriva

CAMBIO DE REDUCTORES O MOTORES EN ROBOTS CON SOPORTES			
Tiempo operación mantenimiento (SEG)	Laterales NO producidos	Coste lateral(€)	Total NO producido (€)
1500	19	380,00	7.125,00

Tabla 21 – Coste perdidas no producción con soportes Piso trasero Meriva

	COSTE MANTENIMIENTO (€)	COSTE NO PRODUCCION (€)	COSTE TOTAL (€)	AHORRO PRODUCCION (€)
CAMBIO DE REDUCTORES O MOTORES EN ROBOTS CON SOPORTES	40,48	7.125,00	7.165,48	70.256,39
CAMBIO DE REDUCTORES O MOTORES EN ROBOTS SIN SOPORTES	471,87	76.950,00	77.421,87	

Tabla 22 – Coste perdidas no producción Piso trasero Meriva

10 CONCLUSIONES

Con base en el desarrollo del estudio, se lograron importantes cambios en la geometría, distribución de las tensiones y desplazamientos de los soportes durante la ejecución de su trabajo.

1. Estas modificaciones han repercutido directamente en la disminución del peso, distribuciones más equilibradas de las tensiones y desplazamientos a las que está sometido el soporte.
2. Lo anterior se logra cumpliendo las premisas de seguridad establecidas para el nuevo diseño siendo una de las principales el mantener el coeficiente de seguridad con un valor mayor que 2 (dos).
3. Soportes baratos y de fácil mecanización.
4. Amortización inmediata, teniendo en cuenta los costes derivados de personal más los costes derivados por el paro de las líneas de producción.
5. Con referencia a los tiempos de mantenimiento y reparación, el nuevo diseño ha permitido:
 - Una reducción en el tiempo de operaciones de mantenimiento de aproximadamente 4.5 horas a 30 minutos.
 - Para el tipo de reparaciones más corrientes es suficiente desmontar los soportes averiados y reemplazarlos en el mismo sitio por otros funcionales o de otras piezas o motores, evitando con esto todos los movimientos de reparación que hasta ahora se realizaban. (Véase numeral 1.2).
 - Reducción del gasto de mano de obra en un 90%, además de la eliminación del personal encargado del transporte del robot al sitio de reparación primero y después al sitio de trabajo del robot.
 - Eliminación de riesgos derivados por la manipulación y transporte del robot.
 - Mayor eficiencia en las líneas de producción ocasionadas por el fallo de los robots.

Con lo anteriormente mencionado, cabe mencionar que las casas fabricantes de robots, deberían ver la importancia de estos utensilios de trabajo y sus beneficios para sus clientes desde el primer día de uso de estos soportes.

11 AGRADECIMIENTOS

Al equipo de mantenimiento industrial nave de carrocerías de General Motors, especialmente a Antonio Baleriola, al departamento de ingeniería mecánica, tanto a Javier Abad como a María Ángeles Pérez, así como en el departamento de Ingeniería de proyectos a Manuel Auria. Por guiarme en este proyecto y su voluntad de compartir sus conocimientos para la realización del mismo.

A mi familia y amigos por su apoyo incondicional.

A todos ellos, gracias.

12 BIBLIOGRAFIA

- MANUAL ROBOT ABB 6400.
- MANUAL ROBOT FANUC 420-SW.
- MANUAL ROBOT FANUC R-2000 IA.
- DISEÑO DE MAQUINAS, Apuntes asignatura 3er curso de Ingeniería Técnica Industrial Mecánica.
- INGENIERIA DE MATERIALES PARA INDUSTRIA Y CONSTRUCCION, Editorial Mira.

- CONSULTAS WEB
 - <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>
 - <http://www.solidworks.es>
 - <http://www.metal-Service.net/pdf/CARACTERISTIQUES%20ACERS.pdf>
 - <http://www.3dcadbrowser.com>
 - <http://www.3dcontentcentral.com/default.aspx>

ANEXOS

ANEXO 1 – MATERIALES

1.-INTRODUCCIÓN

Análisis del material elegido para la fabricación de los soportes iniciales y finales.

2.-ACERO ESTRUCTURAL (E-295)

Se define como acero estructural al producto de la aleación de hierro, carbono y pequeñas cantidades de otros elementos como pueden ser el fósforo, el azufre, el silicio y el oxígeno.

El acero laminado en caliente, fabricado con fines estructurales, se denomina como acero estructural al carbono, con límite de fluencia de 420 MPa.

Este acero se caracteriza por su alta resistencia, y su homogeneidad convirtiéndolo en un acero muy fiable.

Es un material elástico, es decir, aplicada una fuerza de tracción, si esta supera el límite elástico, el material comienza la etapa de fluencia, deformándose hasta su rotura, siendo fácil predecir cuándo puede haber peligro por fallo de un componente, a diferencia de un material plástico, que rompe sin previo aviso.

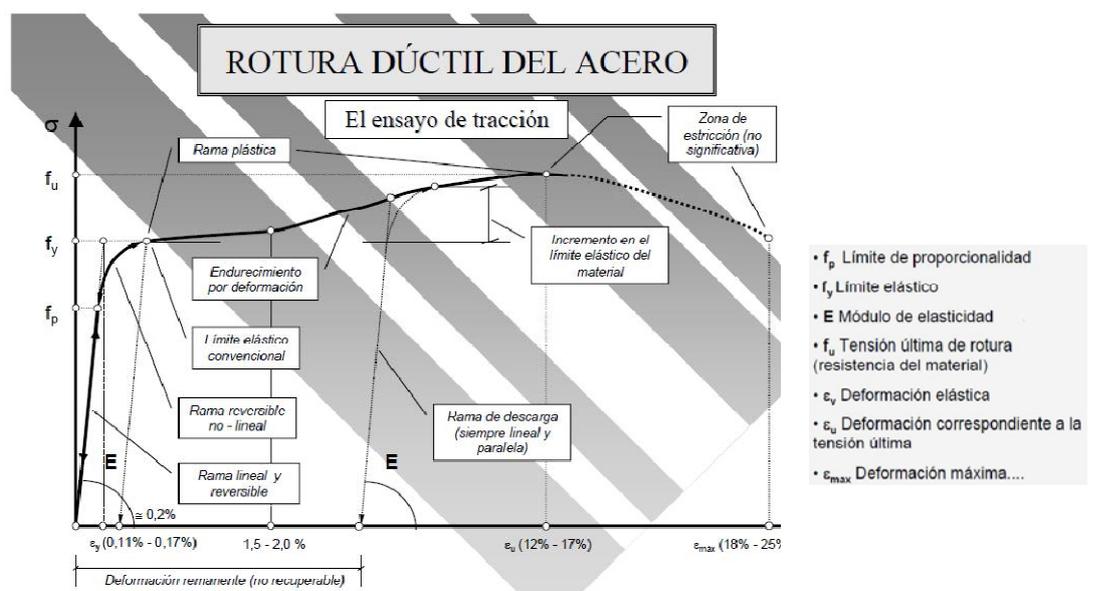
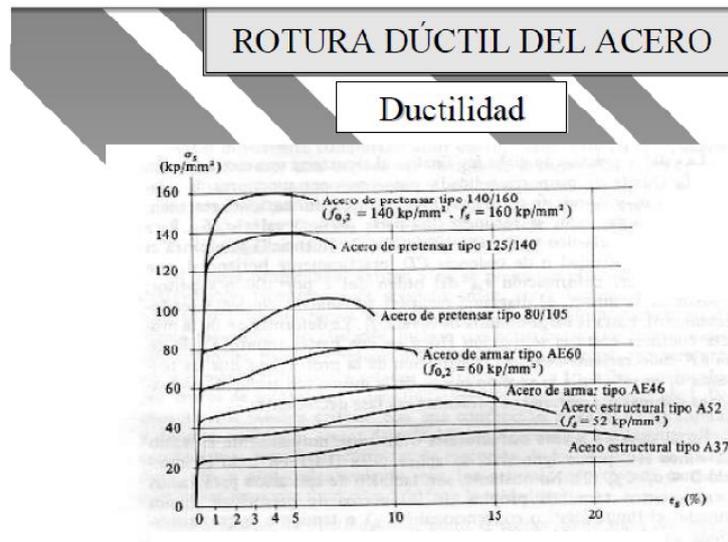


Fig. 49 – Ensayo tracción en Acero.



En la imagen superior se obtiene la deformación en función de la tensión aplicada para distintos aceros, observándose como se va perdiendo ductilidad a medida que se aumenta la resistencia.

Para el estudio en cuestión, se ha optado por un acero de resistencia media a fin de prever la rotura del mismo.

Destaca por una buena soldabilidad en todos los procesos convencionales de soldadura sin que, en la mayoría de los casos, sea necesario aplicar tratamientos de calentamientos previos o posteriores.

Además de presentar buenos niveles de propiedades mecánicas, los aceros estructurales alcanzan valores de resiliencia muy satisfactorios.

3. PROPIEDADES Y ENSAYOS

El ensayo de tracción consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta.

En un ensayo de tracción pueden determinarse diversas características de los materiales elásticos:

- Coeficiente de Poisson, que cuantifica la razón entre el alargamiento longitudinal y el acortamiento de las longitudes transversales a la dirección de la fuerza.
- Límite de proporcionalidad: valor de la tensión por debajo de la cual el alargamiento es proporcional a la carga aplicada.
- Límite elástico: valor de la tensión ha la que se produce un alargamiento prefijado de antemano (0,2%, 0,1%, etc.) en función del extensómetro empleado.

- Carga de rotura o resistencia a tracción: carga máxima resistida por la probeta dividida por la sección inicial de la probeta.
- Alargamiento de rotura: incremento de longitud que ha sufrido la probeta. Se expresa en tanto por ciento.
- Estricción: es la reducción de la sección que se produce en la zona de la rotura.

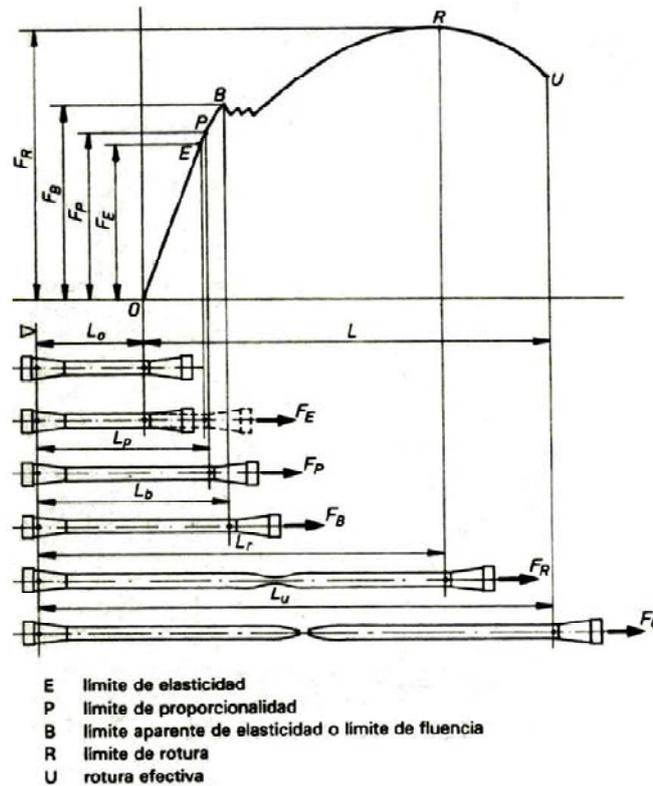


Fig. 51 –Ensayo tracción Acero

ANEXO 2 – PLANOS

Planos a escala de los soportes para cada tipo de robot.

1 ABB 6400

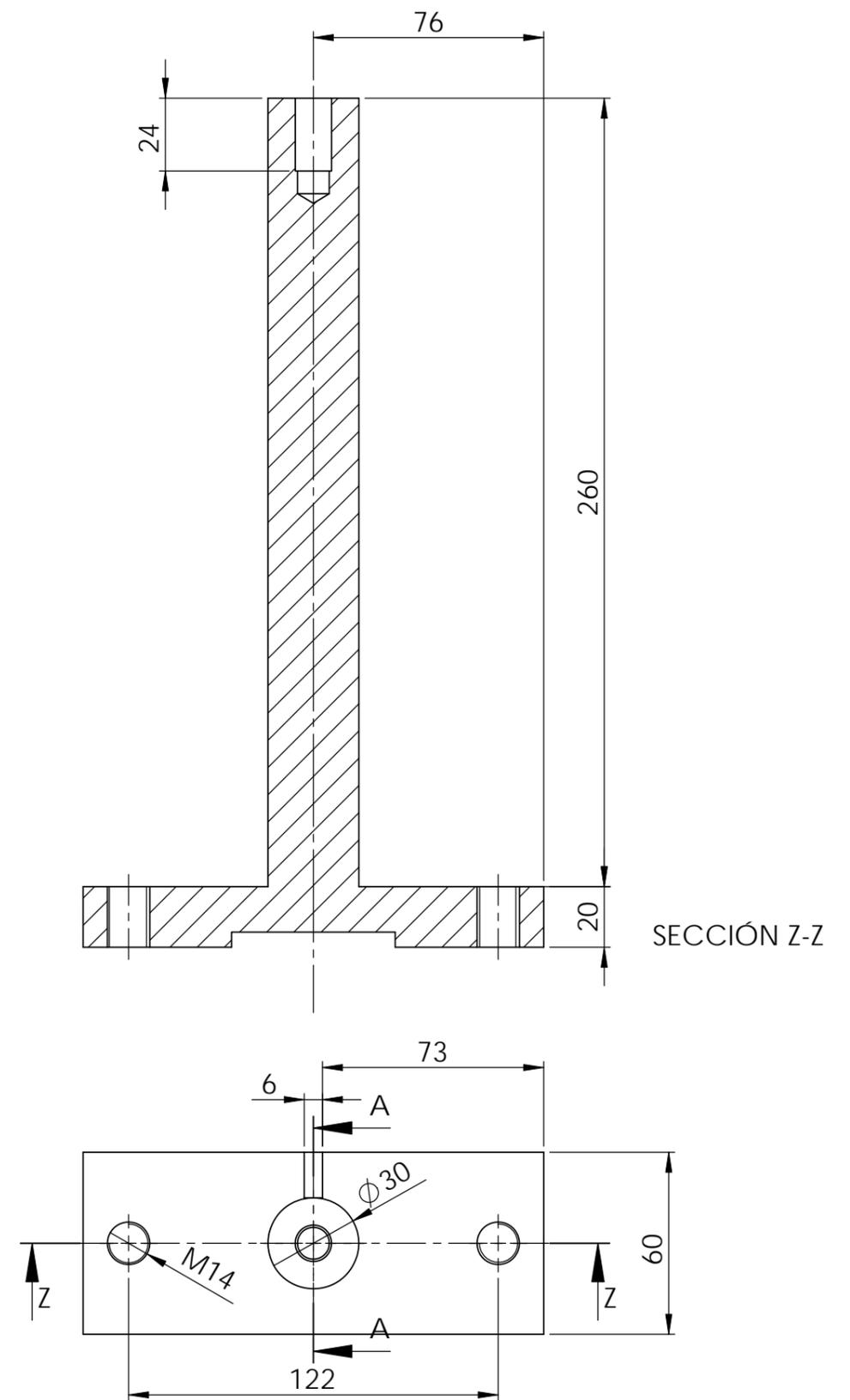
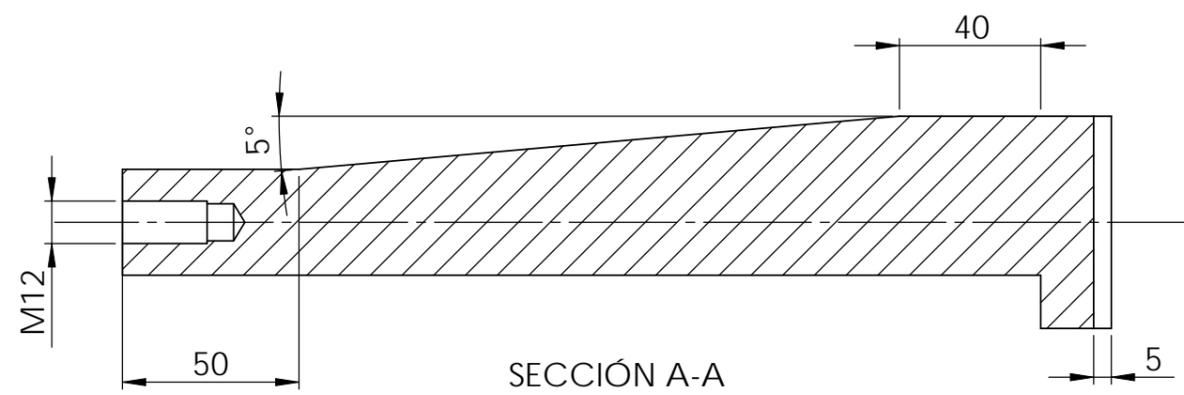
- 1.1 A6400-1
- 1.2 A6400-2
- 1.3 A6400-3
- 1.4 A6400-4
- 1.5 A6400-1R
- 1.6 A6400-2R
- 1.7 A6400-3R

2 FANUC R-2000IA

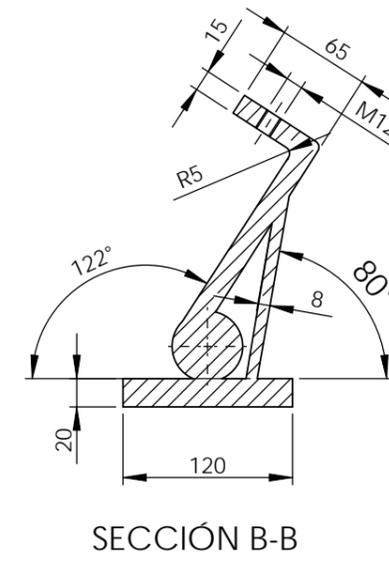
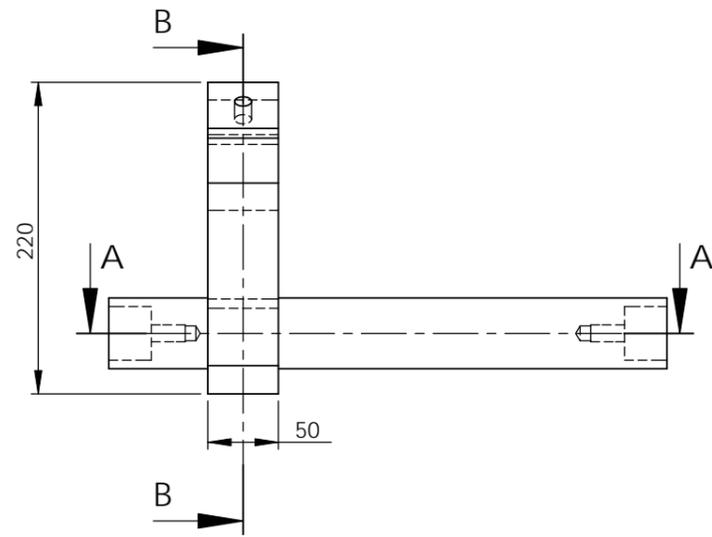
- 2.1 F2000-1
- 2.2 F2000-1R

3 FANUC F420 SW

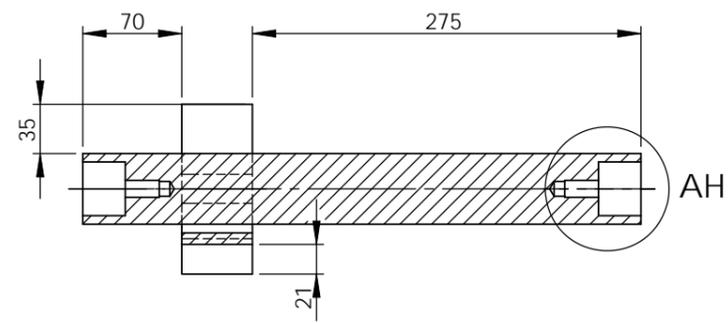
- 3.1 F420-1
- 3.2 F420-2
- 3.3 F420-3
- 3.4 F420-1R
- 3.5 F420-2R
- 3.6 F420-3R



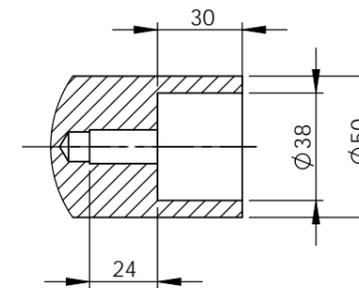
	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	N. DAPENA	12/05/2011	
COMPROB.	M. AURIA	12/05/2011	
ESCALA:	A6400-1		PLANO
1:2			1
			HOJA
			1 DE 7



SECCIÓN B-B

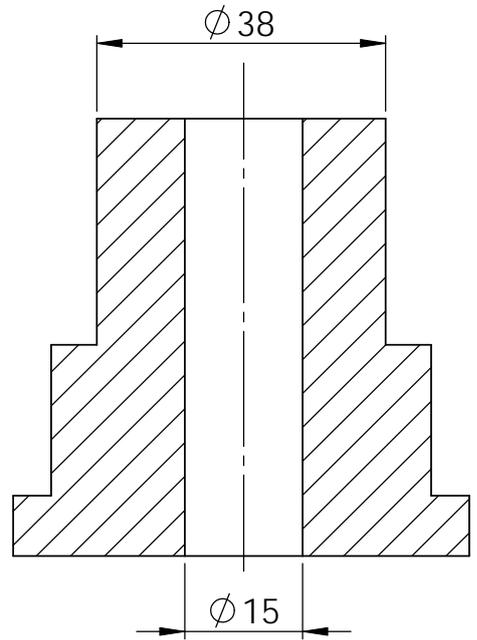
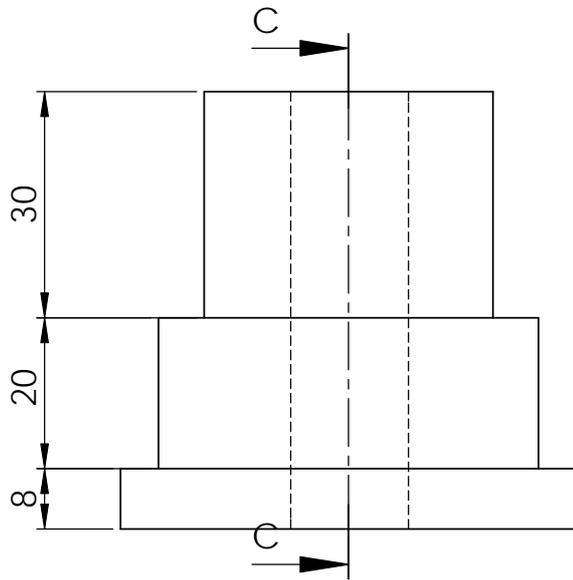


SECCIÓN A-A

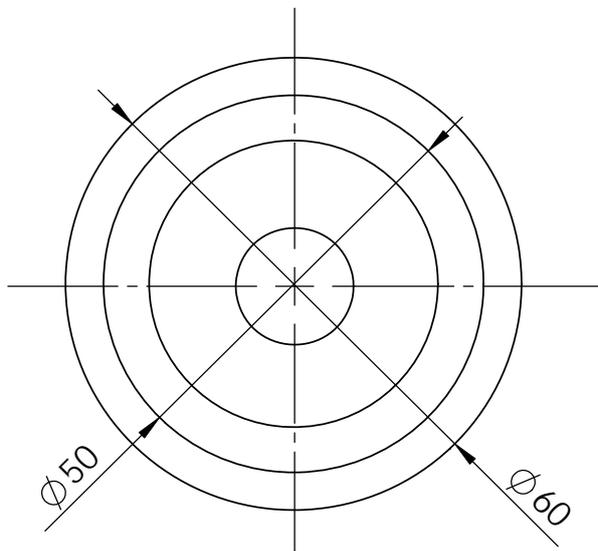


DETALLE AH
ESCALA 2 : 5

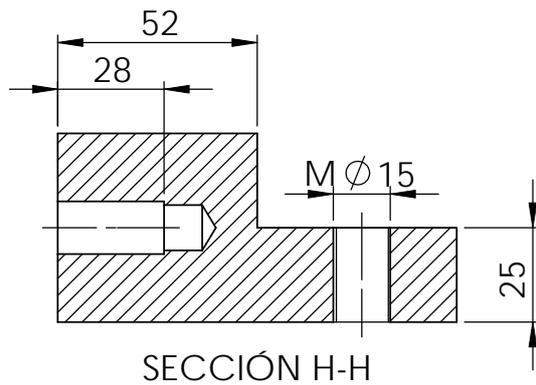
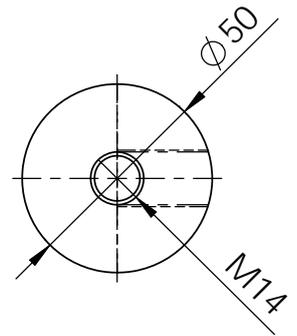
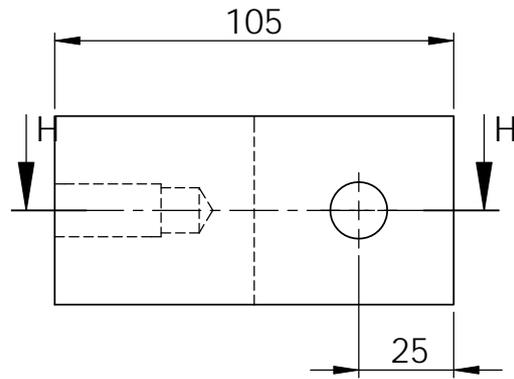
	NOMBRE	FECHA	 Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial ZARAGOZA
DIBUJADO	N. DAPENA	12/05/2011	
COMPROB.	M. AURIA	12/05/2011	
ESCALA: 1:5	<h1>A6400-2</h1>		PLANO 2 HOJA 2 DE 7



SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 1

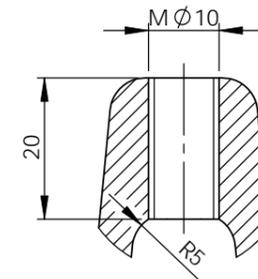
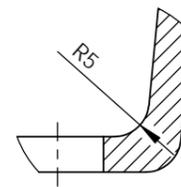
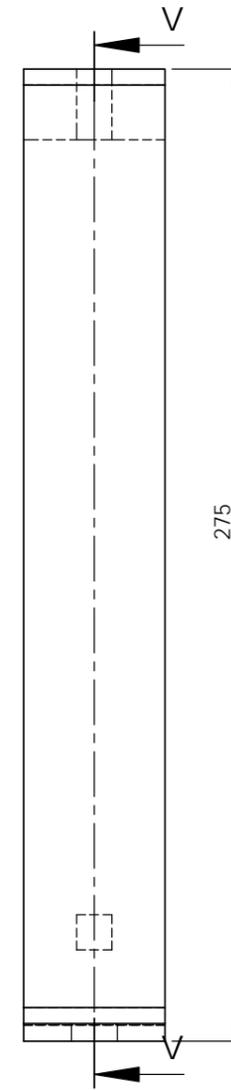
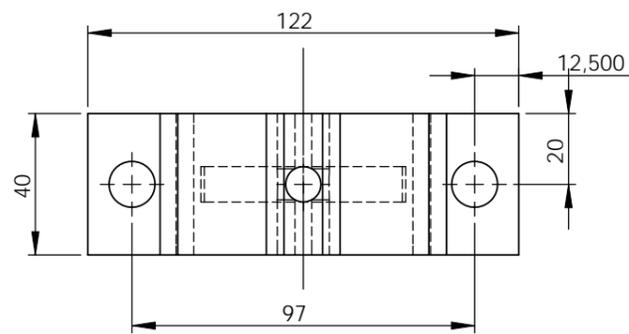
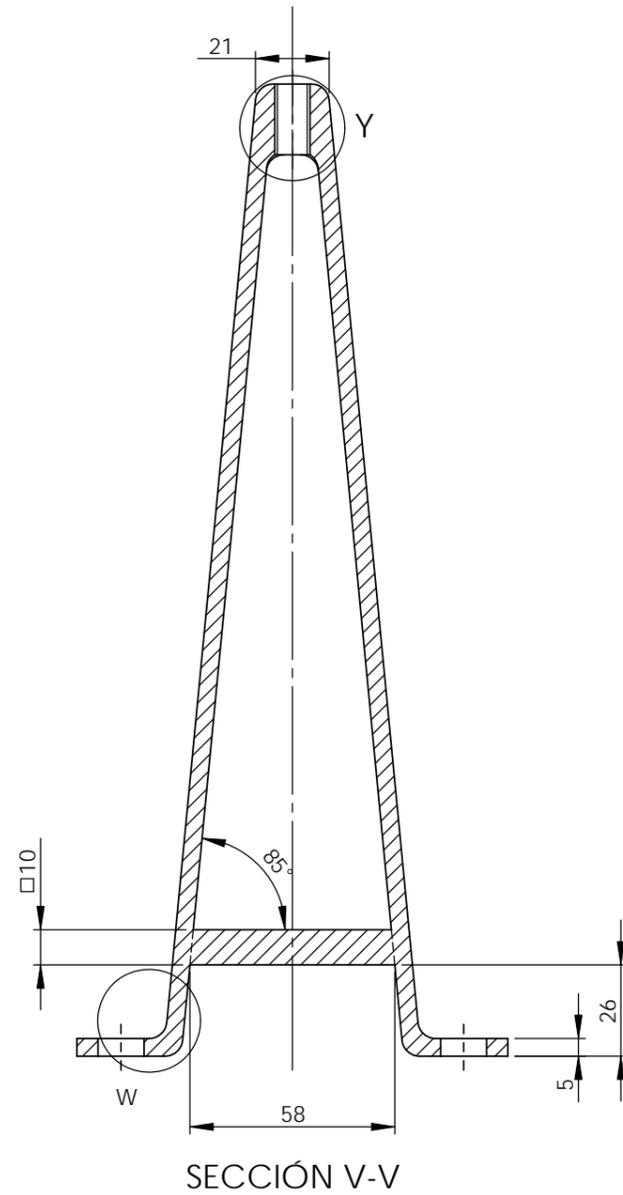


	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	N. DAPENA	12/05/2011	
COMPROB.	M. AURIA	12/05/2011	
ESCALA 1:1	A6400-3		PLANO 3
			HOJA 3 DE 7

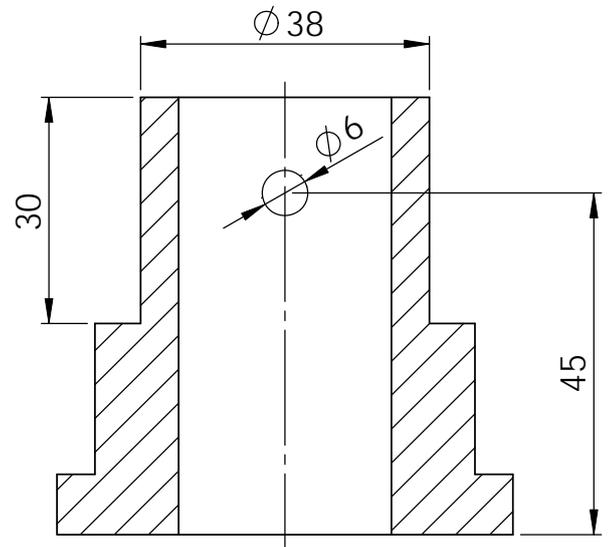
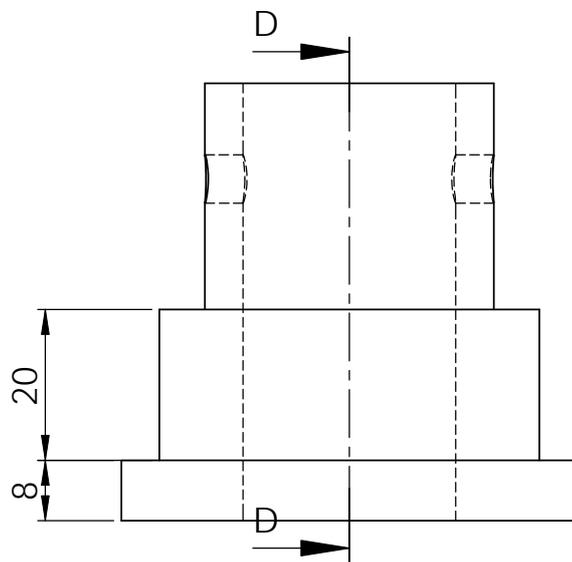


SECCIÓN H-H

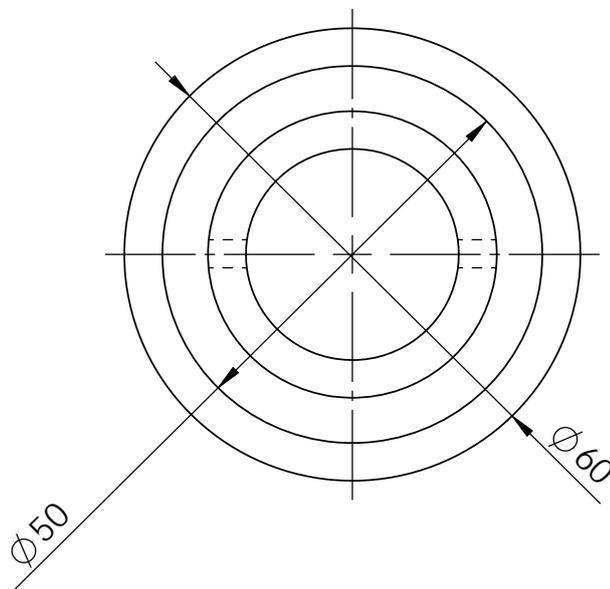
	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	N. DAPENA	12/05/2011	
COMPROB.	M. AURIA	12/05/2011	
ESCALA	<h1>A6400-4</h1>		PLANO
1:2			HOJA
			4 DE 7



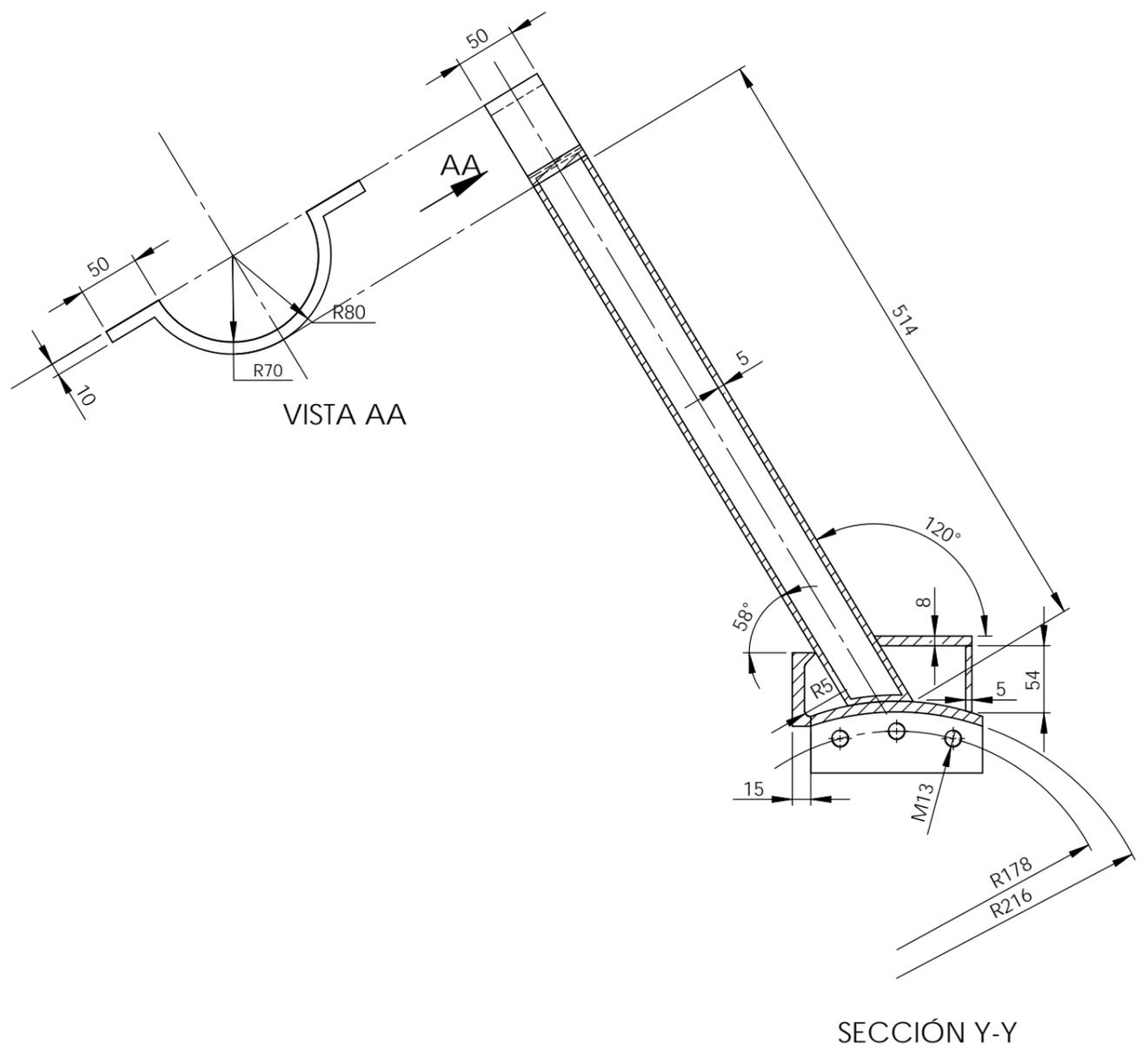
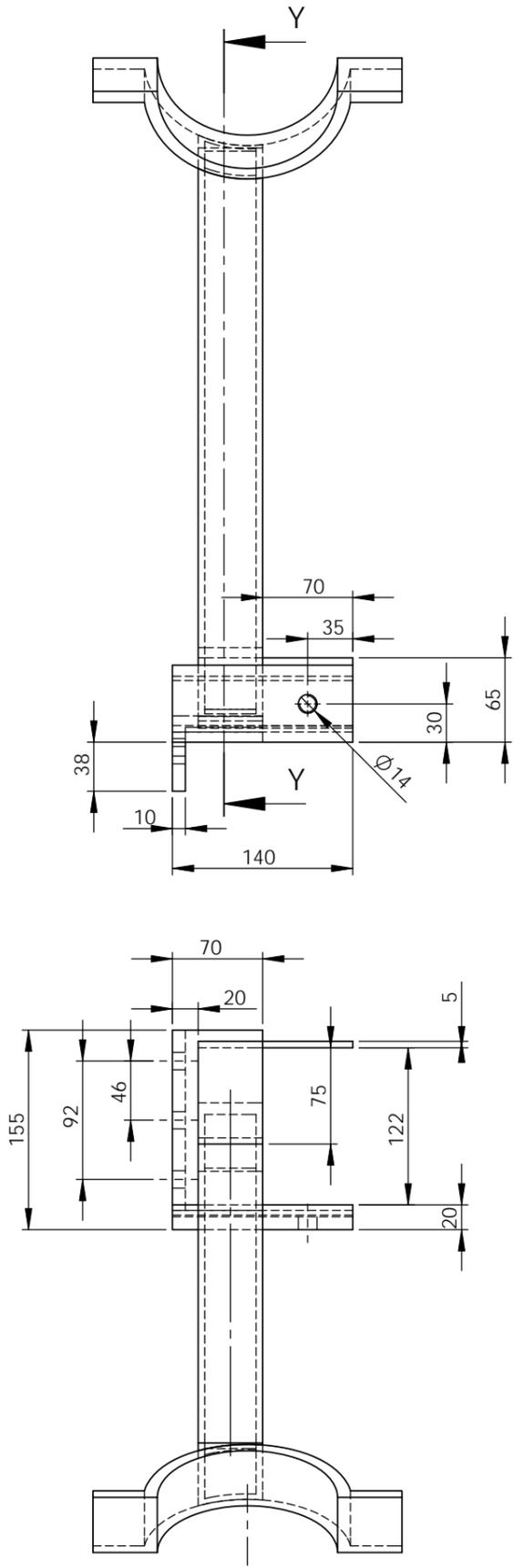
	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	N. DAPENA	12/05/2011	
COMPROB.	M. AURIA	12/05/2011	
ESCALA: 1:2	A6400-1R		PLANO 5 HOJA 5 DE 7



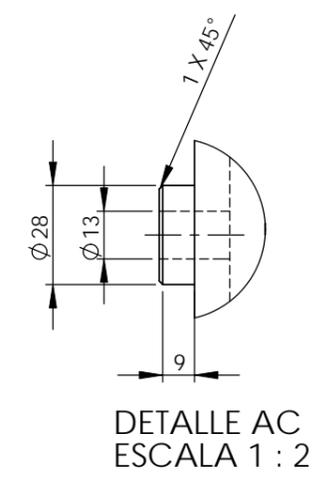
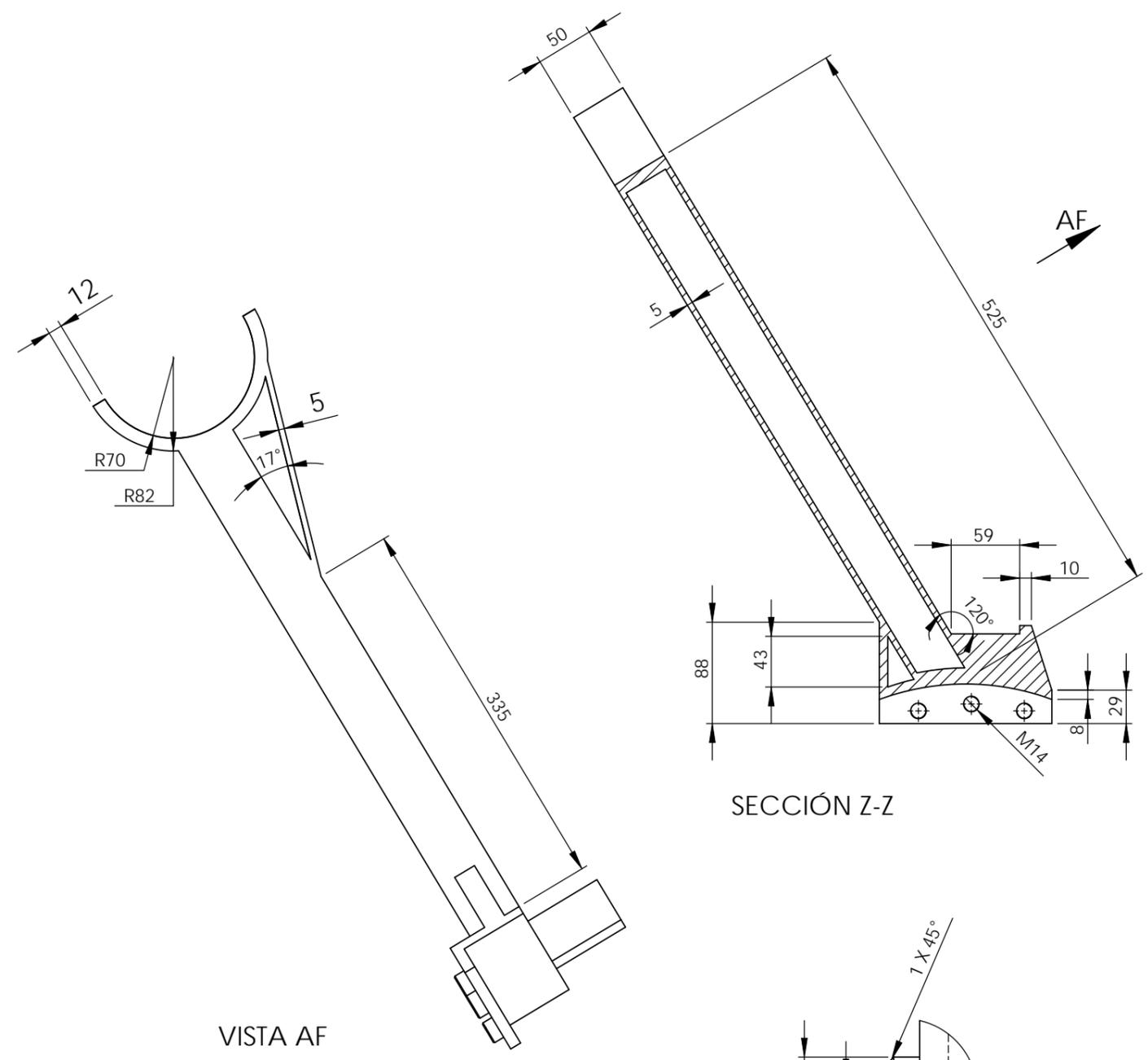
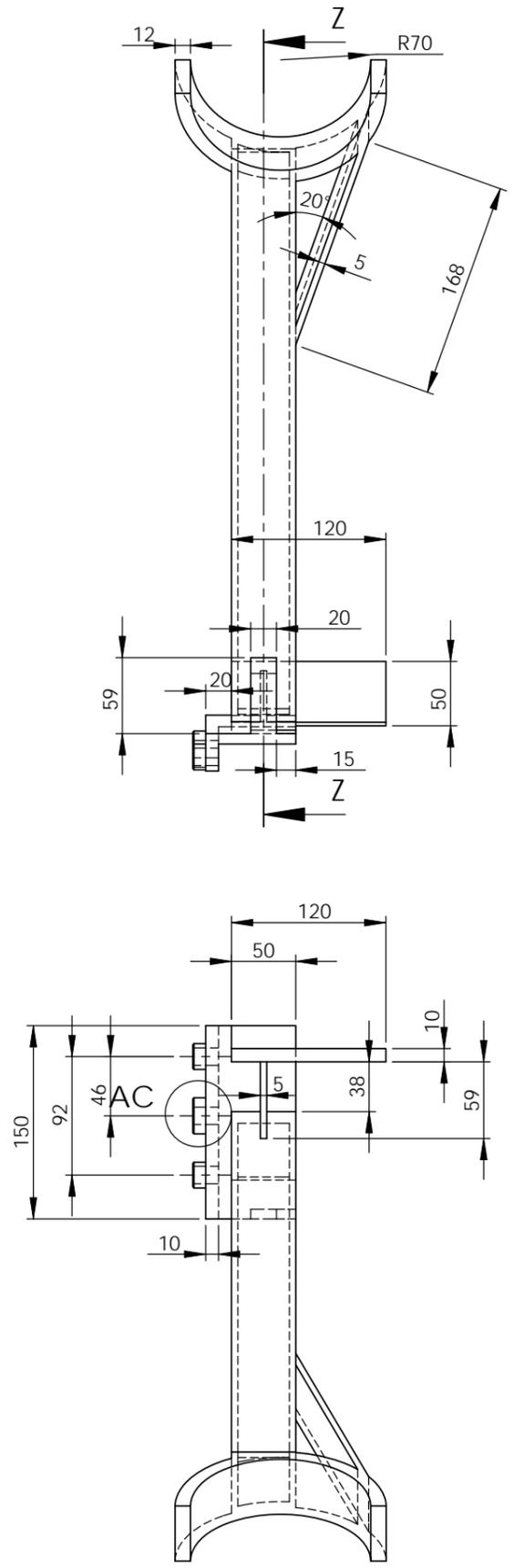
SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 1



	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	N. DAPENA	12/05/2011	
COMPROB.	M. AURIA	12/05/2011	
ESCALA	A6400-3R		PLANO
1:1			7
			HOJA
			7 DE 7



	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	N. DAPENA	12/05/2011	
COMPROB.	M. AURIA	12/05/2011	
ESCALA: 1:5	F2000-1		PLANO 1 HOJA 1 DE 2

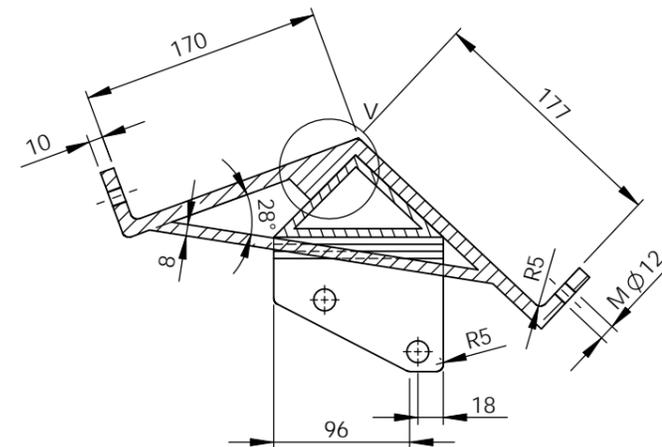
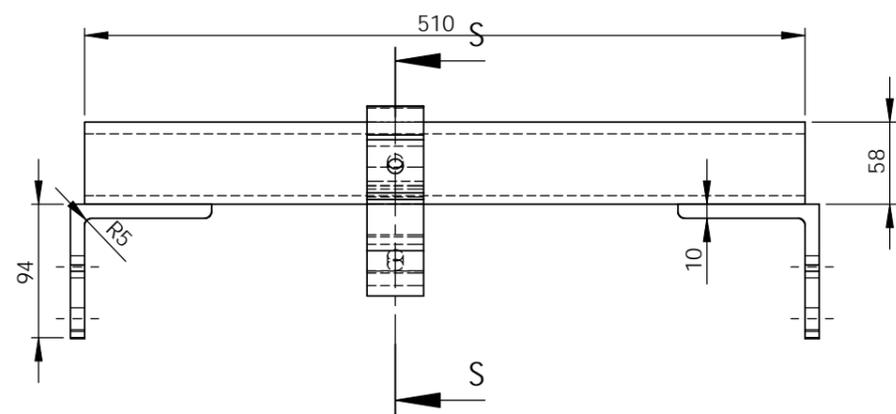


VISTA AF

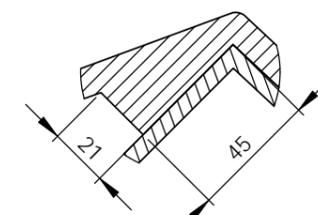
SECCIÓN Z-Z

DETALLE AC
ESCALA 1 : 2

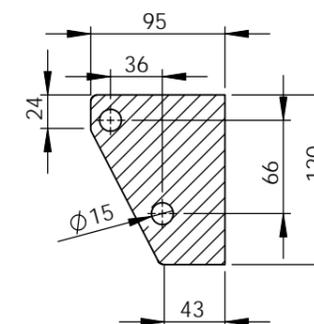
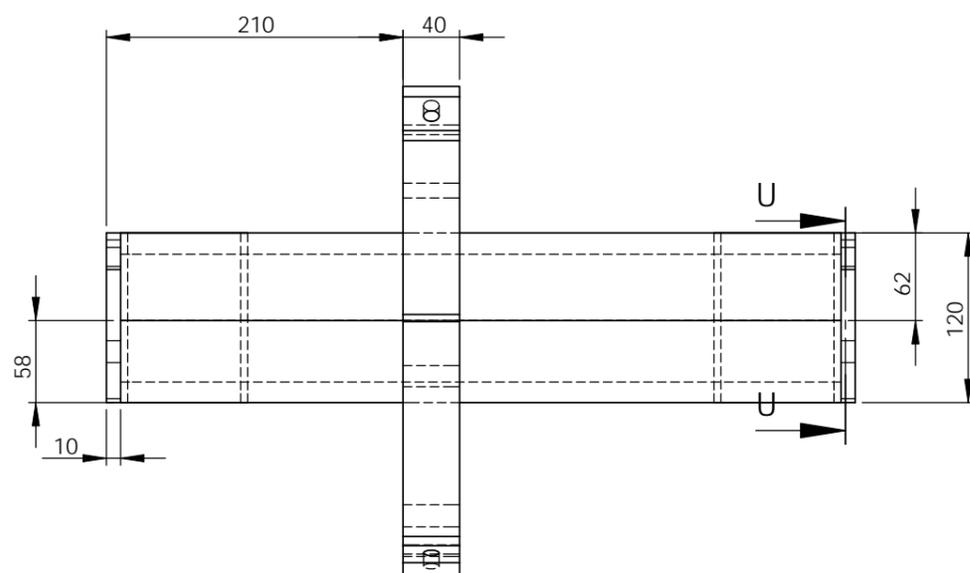
	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	N. DAPENA	12/05/2011	
COMPROB.	M. AURIA	12/05/2011	
ESCALA: 1:5	F2000-1R		PLANO 2 HOJA 2 DE 2



SECCIÓN S-S

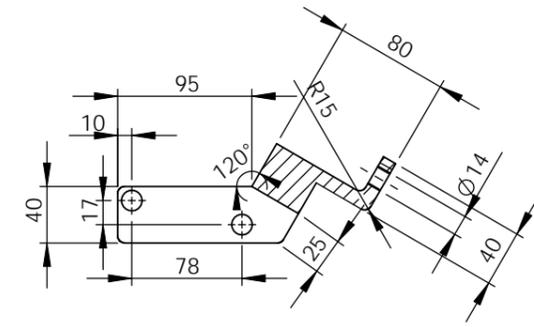
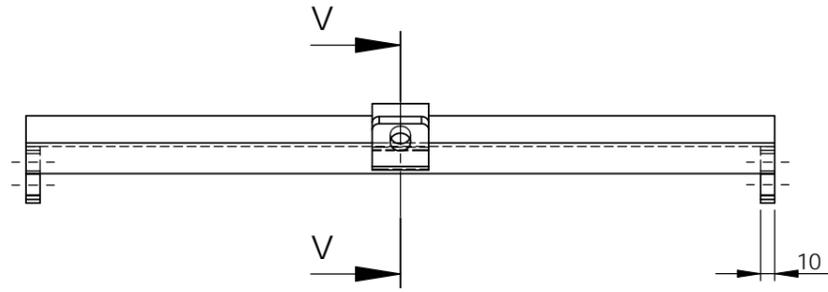


DETALLE V
ESCALA 2 : 5

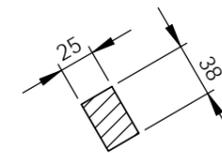
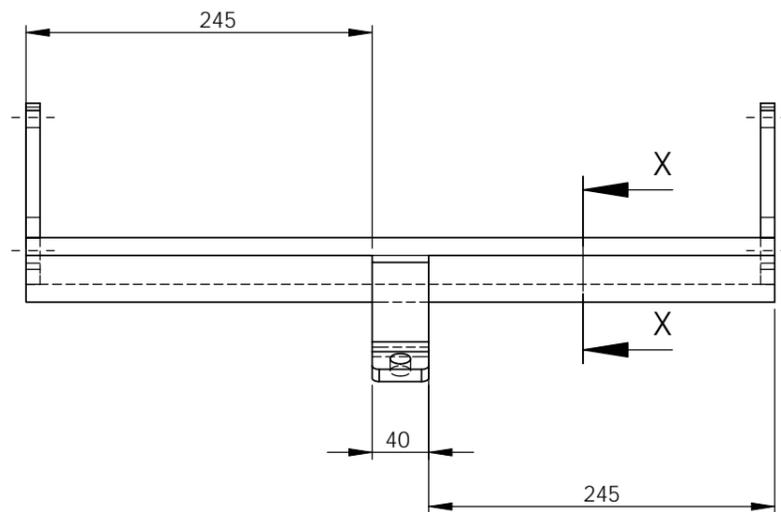


SECCIÓN U-U

	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	N. DAPENA	12/05/2011	
COMPROB.	M. AURIA	12/05/2011	
ESCALA:	F420-1		PLANO
1:5			1
			HOJA
			1 DE 6

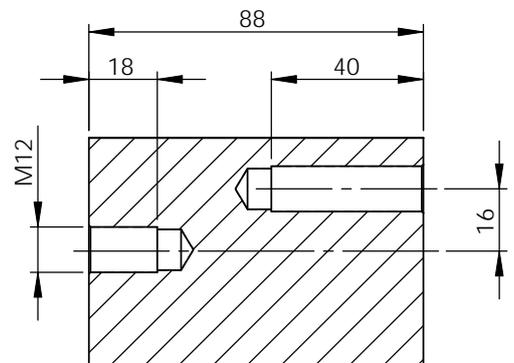
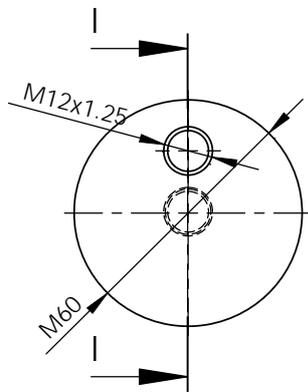


SECCIÓN V-V



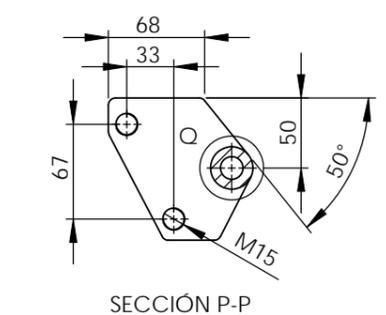
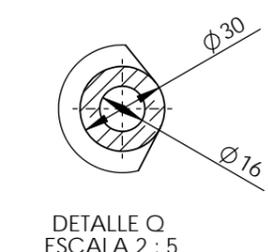
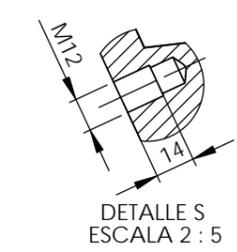
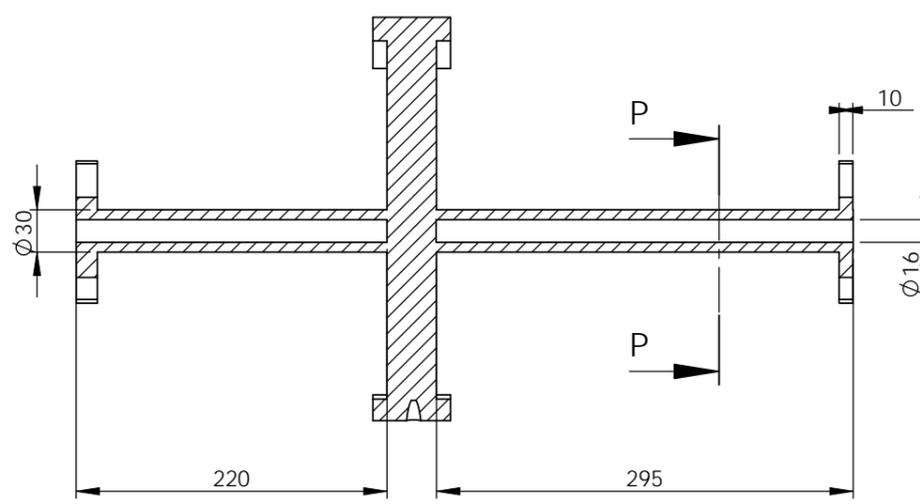
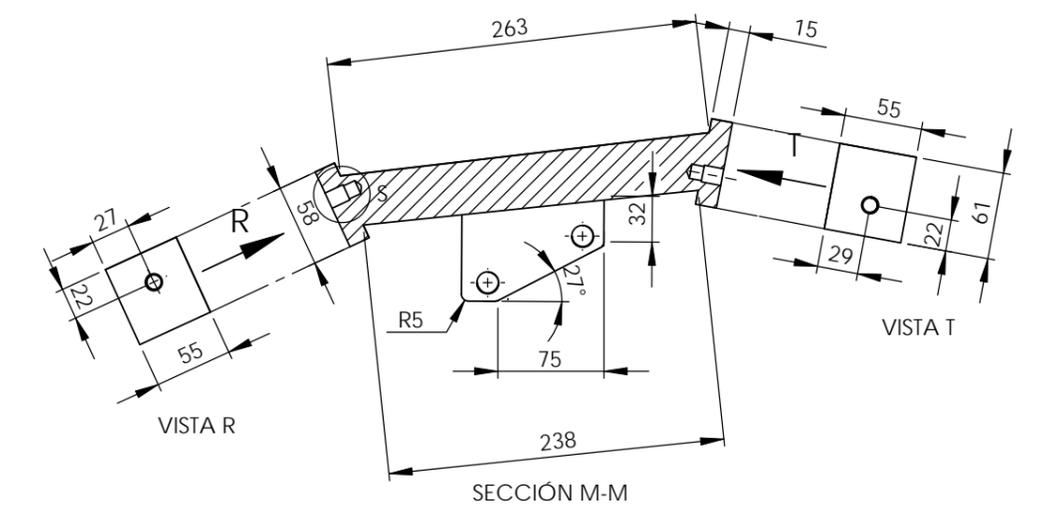
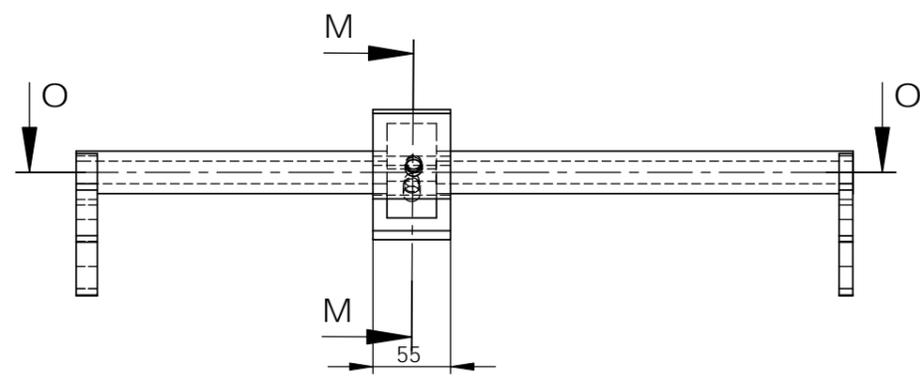
SECCIÓN X-X

	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	N. DAPENA	12/05/2011	
COMPROB.	M. AURIA	12/05/2011	
ESCALA:	F420-2		PLANO
1:5			2
			HOJA
			2 DE 6



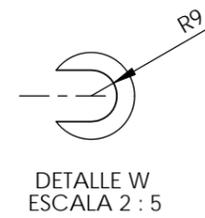
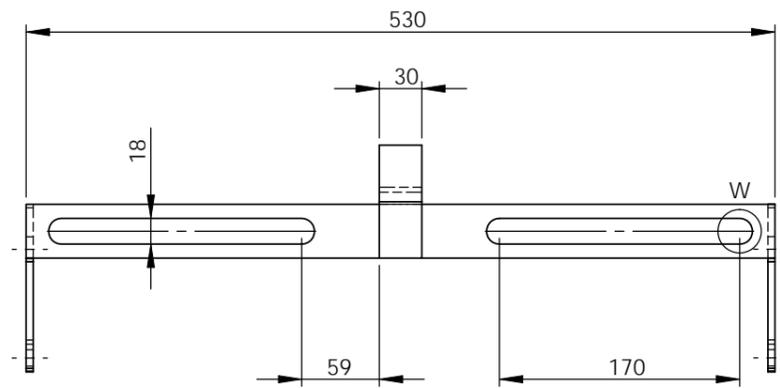
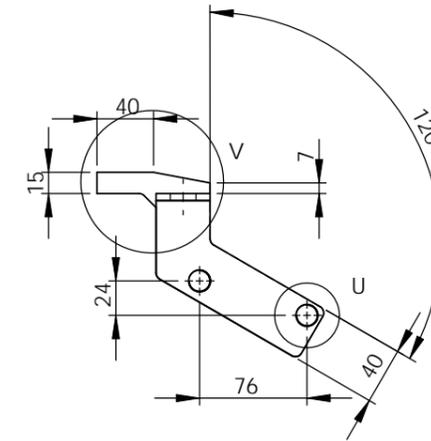
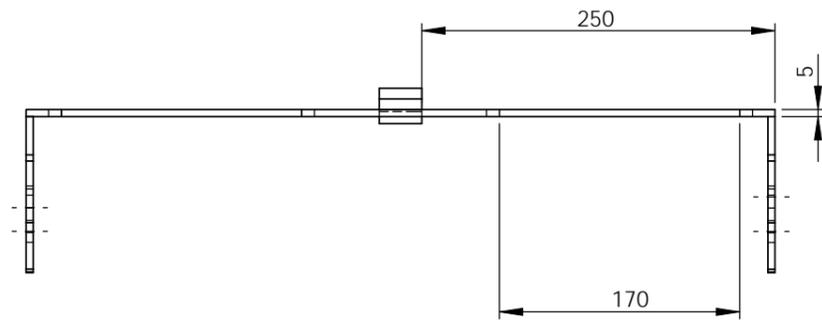
SECCIÓN I-I

	NOMBRE	FECHA	 Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Industrial ZARAGOZA
DIBUJADO	N. DAPENA	12/05/2011	
COMPROB.	M.AURIA	12/05/2011	
ESCALA	<h1>F420-3</h1>		PLANO 3
1:2			HOJA 3 DE 6

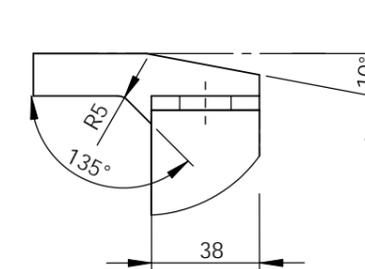


SECCIÓN O-O

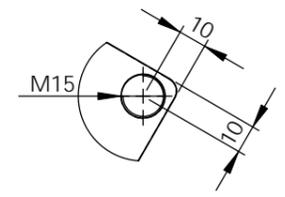
	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	N. DAPENA	12/05/2011	
COMPROB.	M. AURIA	12/05/2011	
ESCALA: 1:5	F420-1R		PLANO 4 HOJA 4 DE 6



DETALLE W
ESCALA 2 : 5

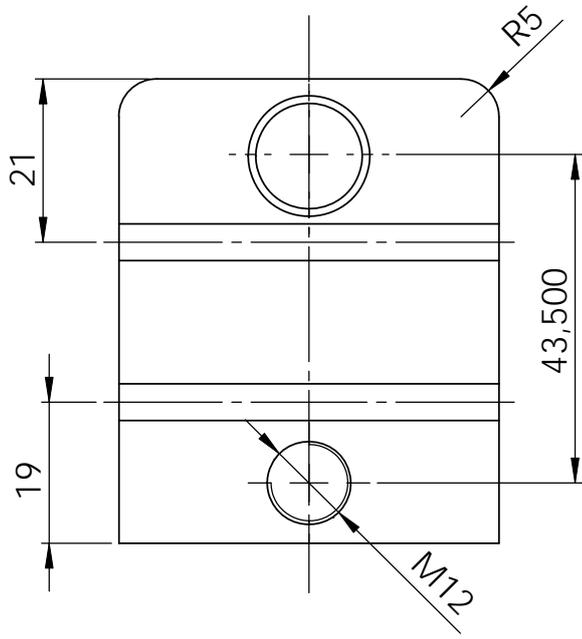
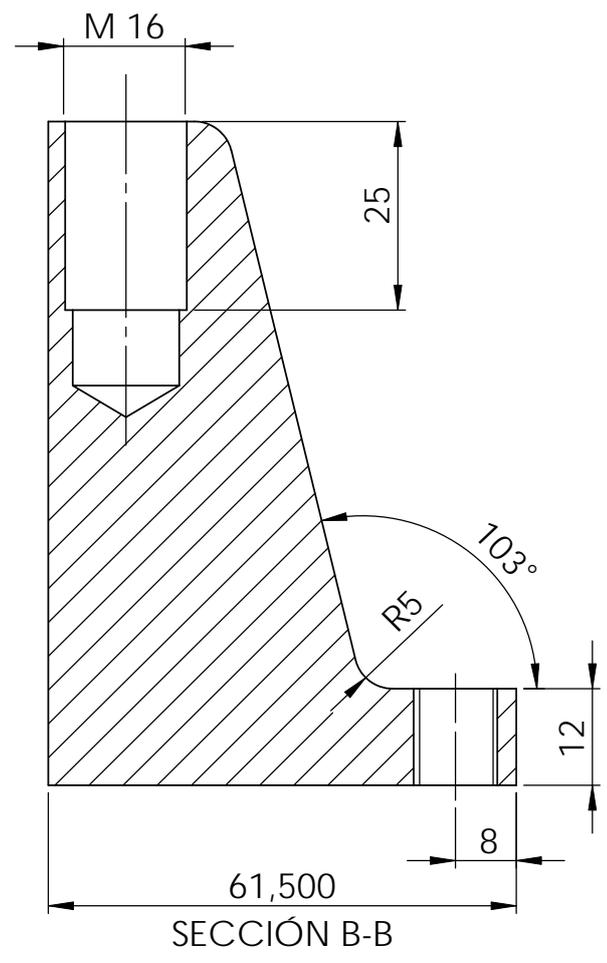
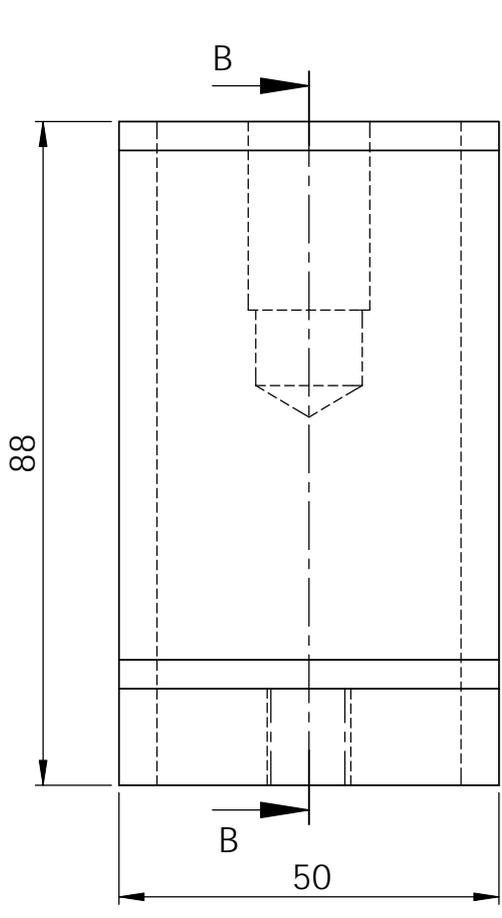


DETALLE V
ESCALA 2 : 5



DETALLE U
ESCALA 2 : 5

	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	N. DAPENA	12/05/2011	
COMPROB.	M. AURIA	12/05/2011	
ESCALA: 1:5	F420-2R		PLANO 5
			HOJA 5 DE 6



	NOMBRE	FECHA	
DIBUJADO	N. DAPENA	12/05/2011	
COMPROB.	M. AURIA	12/05/2011	
ESCALA	F420-3R		PLANO
1:1			6
			HOJA
			6 DE 6