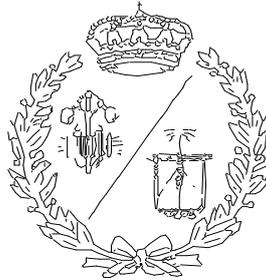


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Máster

**CÉLULA ROBOTIZADA PARA CONEXIÓN
DE TERMINALES DE ESTATOR**
(Automatic Cell for Stator tail wires
connection)

Para acceder al Título de

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN
INGENIERIA INDUSTRIAL**

Autor: Gustavo Matarazzo Zinoni

Julio –2018

ÍNDICE

ÍNDICE

1 MEMORIA	<i>pág.7</i>
1.1 DATOS DE PARTIDA	<i>pág.8</i>
1.1.1 Proceso general de fabricación de un estator.	<i>pág.8</i>
1.1.2 La máquina de conexión de salidas.	<i>pág.15</i>
1.1.3 Posibilidad de automatización del proceso.	<i>pág.20</i>
1.2 DISEÑO DE LA CELULA.	<i>pág.24</i>
1.2.1 Descripción del proceso diseñado.	<i>pág.24</i>
1.2.2 Reacción ante averías: la producción no se detiene.	<i>pág.27</i>
1.2.2 Distribución en planta de la instalación.	<i>pág.30</i>
1.2.3 Elección de los Robots.	<i>pág.32</i>
1.2.4 Planteamiento mecánico de las garras.	<i>pág.34</i>
1.2.5 Modificaciones en las máquinas.	<i>pág.36</i>
1.2.6 Seguridad: vallado perimetral.	<i>pág.39</i>
1.2.7 Seguridad: situación de máquina averiada.	<i>pág.49</i>
1.3 APARAMENTA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA.	<i>pág.51</i>
1.3.1 El autómata.	<i>pág.51</i>
1.3.2 Las comunicaciones entre máquina y robot.	<i>pág.52</i>
1.4 DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA CÉLULA CON ABB ROBOTSTUDIO	<i>pág.55</i>
1.4.1 Descripción general del software.	<i>pág.56</i>
1.4.2 Los mecanismos	<i>pág.57</i>
1.4.3 El controlador o sistema.	<i>pág.58</i>

1.4.4 La herramienta y su TCP.	<i>pág.59</i>
1.4.5 Los componentes inteligentes.	<i>pág.60</i>
1.4.6 La lógica de la estación.	<i>pág.63</i>
1.4.7 Los objetos, puntos y trayectorias de trabajo.	<i>pág.64</i>
1.4.8 RAPID	<i>pág.65</i>
1.4.9 Simulación	<i>pág.67</i>
2 ANEXOS	<i>pág.69</i>
2.1 ROBOTSTUDIO: COMPONENTES INTELIGENTES.	<i>pág.70</i>
2.1.1 Máquina 1	<i>pág.70</i>
2.1.2 Máquina 2	<i>pág.71</i>
2.1.3 Máquina 3	<i>pág.71</i>
2.1.4 Mesa de avería	<i>pág.72</i>
2.1.5 Banda de salida	<i>pág.73</i>
2.1.6 Garra de Robot 1	<i>pág.73</i>
2.1.7 Garra de Robot 2	<i>pág.74</i>
2.2 ROBOTSTUDIO: RAPID	<i>pág.75</i>
2.2.1 Entradas y salidas.	<i>pág.76</i>
2.2.2 Lógica de estación.	<i>pág.77</i>
2.2.3 Programas de Robot 1 y Robot 2.	<i>pág.77</i>
2.3 ANÁLISIS DE TIEMPOS DE CICLO	<i>pág.77</i>
3 PLANOS	<i>pág.79</i>
3.1 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LAS MÁQUINAS	<i>pág.80</i>
3.2 MODIFICACIONES EN MÁQUINAS	<i>pág.81</i>
3.2.1 Protección lateral.	<i>pág.82</i>

3.2.2 Ensamblaje de elevador.	<i>pág.83</i>
3.3 MESA DE AVERÍAS	<i>pág.84</i>
3.4 PLANTEAMIENTO MECÁNICO DE LAS GARRAS	<i>pág.89</i>
3.4.1 Garra Robot 1	<i>pág.89</i>
3.4.2 Garra Robot 2	<i>pág.92</i>
3.5 PROTECCIONES	<i>pág.97</i>
4 PLIEGO DE CONDICIONES	<i>pág.102</i>
4.1 PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES	<i>pág.103</i>
4.1.1 Dirección facultativa	<i>pág.103</i>
4.1.2 Interpretación de documentos y planos de ejecución	<i>pág.104</i>
4.1.3 Normas aplicables	<i>pág.104</i>
4.1.4 Equipos para la ejecución de los trabajos	<i>pág.106</i>
4.1.5 Objeto de los planos y especificaciones	<i>pág.106</i>
4.1.6 Contradicciones u omisiones en la documentación	<i>pág.106</i>
4.1.7 Condiciones generales en la ejecución de los trabajos	<i>pág.106</i>
4.1.8 Variaciones en las condiciones generales de la ejecución de los trabajos	<i>pág.107</i>
4.1.9 Ensayos y pruebas	<i>pág.107</i>
4.1.10 Pruebas de funcionamiento	<i>pág.108</i>
4.2 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES Y EQUIPOS	<i>pág.108</i>
4.2.1 Documentación técnica de referencia	<i>pág.108</i>
4.2.2 Robots	<i>pág.109</i>
4.2.3 Garras del robot	<i>pág.110</i>
4.2.4 Aparamenta eléctrica	<i>pág.110</i>

4.2.5 Autómata	<i>pág.110</i>
4.2.6 Aparamenta neumática	<i>pág.110</i>
4.2.7 Banda de salida	<i>pág.111</i>
4.2.8 Equipos de seguridad	<i>pág.111</i>
4.2.9 Vallado perimetral.	<i>pág.111</i>
4.2.10 Situación en planta del equipo	<i>pág.112</i>
4.2.11 Características del proceso	<i>pág.112</i>
4.3 ESPECIFICACIONES DE EJECUCIÓN	<i>pág.112</i>
4.3.1 Plazo de entrega del proyecto	<i>pág.112</i>
4.3.2 Forma de ejecutar los trabajos	<i>pág.112</i>
4.3.3 Trabajos no previstos	<i>pág.113</i>
4.3.4 Maquinaria y herramientas	<i>pág.114</i>
4.3.5 Medios auxiliares para el montaje de la instalación	<i>pág.114</i>
4.3.6 Protecciones personales durante la ejecución	<i>pág.114</i>
4.4 PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS	<i>pág.115</i>
4.4.1 Condiciones generales	<i>pág.115</i>
4.4.2 Condiciones para fijar precios contradictorios en operaciones no previstas	<i>pág.115</i>
5 PRESUPUESTO	<i>pág.117</i>
5.1 COSTE DE LA INSTALACIÓN	<i>pág.118</i>
5.1.1 Componentes mecánicos	<i>pág.118</i>
5.1.2 Componentes eléctricos y electrónicos	<i>pág.120</i>
5.1.3 Modificaciones de layout	<i>pág.122</i>
5.1.4 Trabajos de ingeniería y puesta a punto	<i>pág.124</i>

5.1.5 Total de ejecución

pág.126

5.2 AMORTIZACIÓN

pág.128

1. MEMORIA

1 MEMORIA

1.1 Datos de partida

Como punto de partida para el Proyecto vamos a conocer el proceso general de fabricación de un estator, en el que está incluida nuestra operación de interés: el conectado de terminales.

Una vez en este punto describiremos la máquina existente y así entender qué posibilidades de automatización disponemos.

1.1.1 Proceso general de fabricación de un estator

¿De qué tipo de estator hablamos? Estamos ante un subconjunto de un alternador o de un pequeño motor eléctrico para automóviles. En consecuencia hablamos de una pieza con forma cilíndrica formado por:

- 1- Paquete o núcleo magnético.
- 2- Hilo de cobre.
- 3- Material aislante.

Por tanto el proceso de fabricación consistirá básicamente en formar una bobina de cobre e insertarla en el paquete.

Cabe destacar que el proceso de inserción que describiremos es el llamado “pull in winding” que no se refiere al bobinado de atracción del motor de arranque de un vehículo, si no al modo de meter la bobina dentro del paquete, empujándola desde abajo y “tirando” de ella para que se meta en las ranuras del paquete.

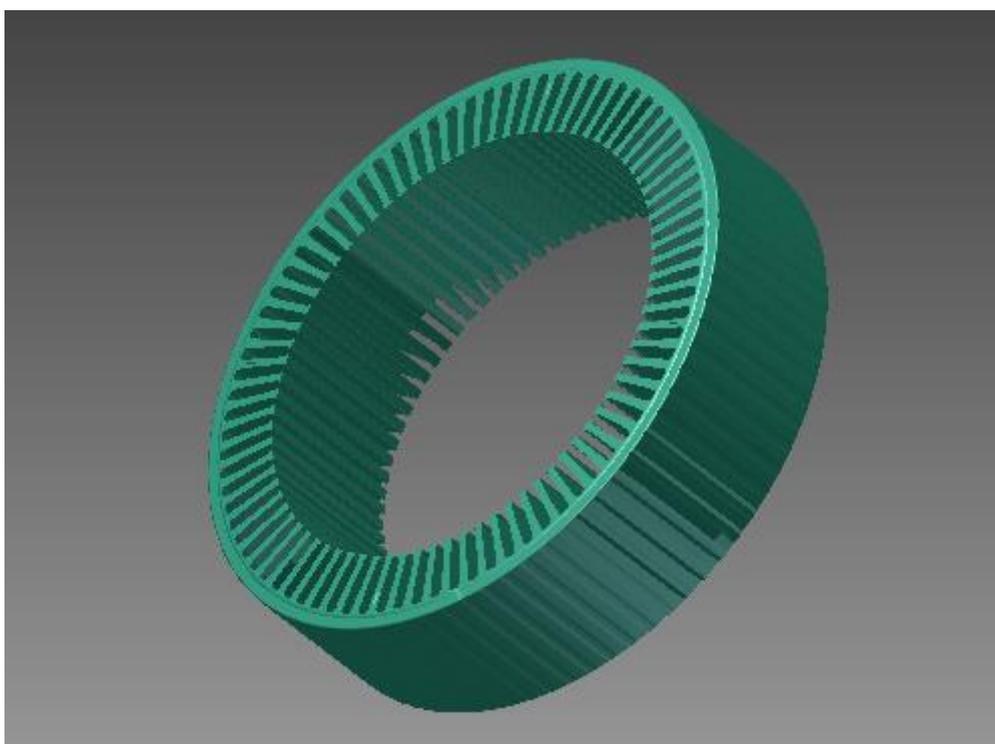
Además el estator de interés es un estator de cinco fases, no trifásico como es usual. Las razones del aumento del número de fases estriban en la disminución del rizado de la corriente rectificada que se conectará a la batería y también en una conveniente disminución del ruido magnético cuando se aumenta el número de ranuras: 80 ranuras en los de cinco fases, frente a las 48 ranuras de los de tres fases.

Analicemos, ahora, fase a fase, el proceso de producción.

Aislado de paquetes

Consiste en tomar el paquete o núcleo ferromagnético y cubrir sus ranuras con material aislante. Este material aislante pueden ser recubrimientos de Zinc – Níquel o procesos de cataforesis. Sin embargo también puede ser simplemente papeles aislantes basados en el poliéster, con capas de “Nomex” en caso de necesitar resistencia a altas temperaturas.

Centrémonos en este último caso. El papel se alimenta en forma de rollo o banda de varios metros de largo. El paquete, sin aislar, se sitúa en un registro giratorio.



Paquete no aislado

Entonces empieza el proceso: dos rodillos moleteados alimentan el papel aislante una longitud suficiente para aislar toda la ranura. En este momento un conformador metálico presiona y corta el papel dándole la forma de la ranura del paquete.



Papel conformado, listo para insertar.

El papel, con esta forma, queda metido en una matriz que está justo debajo de la ranura del paquete. Un empujador subirá e insertará el papel en la ranura que está por encima de la matriz.

Para conseguir el aislado de todo el paquete, el registro giratorio gira un ángulo igual al ángulo entre ranuras y el proceso anterior se repite hasta completar el paquete.

Bobinado

El bobinado e inserción es el proceso fundamental de fabricación de un estator. Consiste en la fabricación de una bobina de cobre esmaltado e insertarla en el paquete aislado.

El bobinado propiamente dicho trata de conseguir una bobina con forma cuasi redonda que después se le da forma de estrella. Esta estrella tendrá tantas puntas como polos tenga el alternador o motor, es decir, con 6 pares de polos, la estrella tendrá 12 puntas; o bien con 8 pares de polos la estrella tendrá 16 puntas. Este número también coincide con el número de ranuras del paquete que serán rellenadas por cada bobina (o cada fase).

La “estrella”, una vez formada, se sitúa en un cabezal de inserción formado por guías fijas, guías móviles y un hongo de inserción. Se conoce como hongo a una pieza con esa forma que será la encargada de empujar el hilo hacia la ranura.

Llevamos este cabezal a la zona de inserción donde tenemos el estator previamente aislado en posición. Sin embargo aún no podemos realizar la inserción, ya que debemos fabricar primero los papeles de cierre. Los papeles de cierre son iguales a los descritos en el proceso de aislado de paquetes, sólo que más pequeños.

El papel de cierre también se suministra en rollos y su fabricación consiste en darle forma con dos rodillos conformadores (uno macho y el otro hembra) y cortarlos a la medida que necesita nuestro paquete.

¿Cuál es su función? Tiene doble función: la primera sirve de aislante para la parte interior del paquete, pero además, sirve de cierre para la bobina insertada. Recordemos que tenemos que insertar cinco bobinas y procuraremos que no se nos salgan del paquete las que ya están insertadas...



Papel de cierre

Volvamos al proceso. La bobina no puede insertarse hasta no fabricar los papeles que tras ser conformados se almacenan en una matriz redonda cuyos orificios coinciden angularmente con las ranuras del estator. Llevamos esta matriz a la inserción.

Ahora sí, debemos insertar la estrella de cobre y los papeles. Para ello haremos tres elevaciones. La primera: las guías móviles, que se situarán a los costados de la ranura haciendo una pista por el hilo que debe entrar limpiamente sin tocar el paquete (en tal caso rayaría el esmalte del hilo y provocaríamos un cortocircuito entre la bobina y el núcleo). La segunda elevación será el hongo que gracias a su forma empujará la bobina y, esta, gracias a las guías móviles, se irá metiendo dentro de la ranura. La tercera y última elevación será la de 16 empujadores que insertarán los papeles de cierre en la zona interior del paquete finalizando la inserción.

Sin embargo el proceso no termina aquí, ya que la bobina, una vez insertada se encuentra en una condición bastante incómoda. Incómoda porque está doblada hacia adentro y no permite la inserción de la siguiente fase. ¿Qué hacemos entonces? Vamos a abrir la bobina desde el interior hacia el exterior para que le dejen espacio a la siguiente bobina a insertar.

Recordemos, vamos a fabricar un estator pentafásico, por tanto este proceso se repite cinco veces. Si fuera el caso de un estator trifásico, sólo lo repetiríamos tres veces.

Prensado de cabezas de bobinado

Después del bobinado, las cabezas de bobina del estator están en una condición desordenada y nunca permitirían el ensamblaje en una máquina eléctrica. En consecuencia debemos buscar darle una forma cilíndrica a los hilos de cobre.

La forma que muchos fabricantes han encontrado para dar esta forma es a través de prensas hidráulicas que presionan las cabezas de bobinado con utillajes de geometría redonda y que obligan al hilo de cobre a deformarse y adquirir esta forma.

Prueba eléctrica

Este proceso busca asegurar que no se han cometido fallos durante los procesos de aislado y bobinado.

Por tanto se contacta cada fase buscando fallos de:

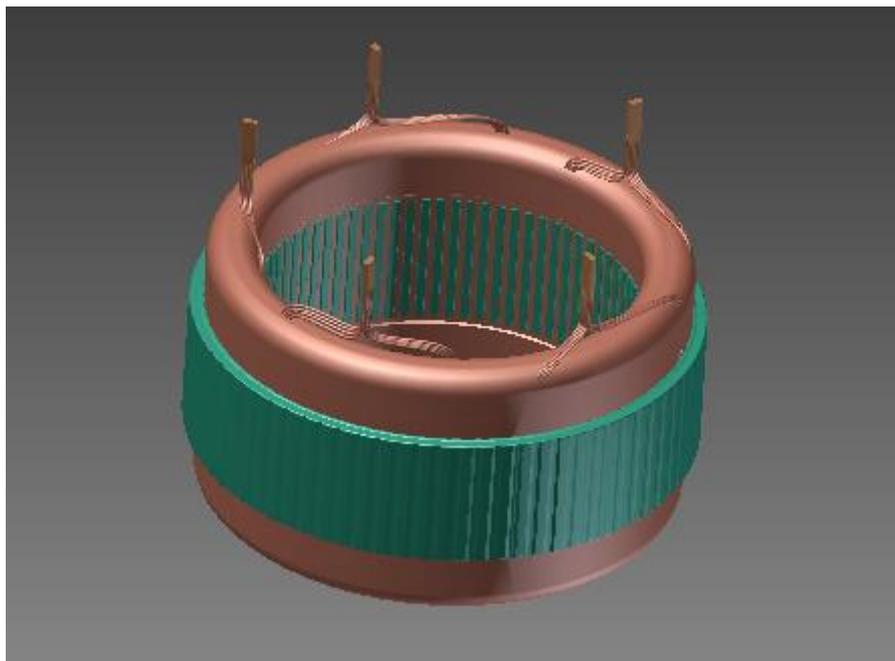
- 1- Resistencia: para asegurar la correcta fabricación de la bobina: tamaño, diámetro de hilo o una indeseada rotura del hilo provocando un circuito abierto.
- 2- Cortocircuito entre fases: para asegurar que nunca tenemos conexión eléctrica entre cualquiera de las cinco fases del estator.
- 3- Cortocircuito en la misma fase: para asegurar que no tenemos una comunicación entre hilos de la misma bobina, que cambie el comportamiento magnético o inductivo de la misma.
- 4- Cortocircuito entre bobina y el paquete: para evitar una derivación entre cualquiera de las bobinas y el núcleo magnético, que convertirían al mismo en un conductor eléctrico, en vez de un conductor de campos magnéticos.

Conexión de terminales

El punto que más nos interesa, se trata de conectar mecánicamente las salidas de hilos, o terminales, de las fases para conseguir una conexión en estrella. Decimos conexión mecánica porque recordemos que la bobina la hemos fabricado con hilos esmaltados, esto es, aislados. Por tanto lo que haremos en este punto del proceso es juntar las terminales de las fases, pero aún no quitaremos el esmalte, es decir, no las conectaremos eléctricamente. Más tarde quitaremos el esmalte y compactaremos el terminal conectado para que las fases queden comunicadas eléctricamente.

El resultado de la conexión es la que podemos observar en la figura siguiente.

Este punto vamos a dejarlo así de breve, ya que entraremos en profundidad más adelante.



Estator con las terminales conectadas

Barnizado

El barnizado consiste en impregnar, con resina, las cabezas de bobinado del estator. Para ello primero se precalienta la pieza hasta 150°C , se sumerge en una resina atemperada a 45°C y posteriormente se lleva a cabo el proceso de curado que consiste en mantener la pieza un tiempo y una temperatura determinada para que el barniz se endurezca.

La finalidad del barnizado es doble: por un lado está la de aislar eléctricamente posibles poros en el esmalte del hilo y por otro lado brinda rigidez mecánica al conjunto del bobinado.

El barnizado es un proceso importante para el proyecto ya que marca el tiempo de ciclo mínimo que podemos alcanzar en la fabricación del estator y que es de 12 segundos.

Limpieza del esmalte en la salida de hilos

Consiste simplemente en retirar el esmalte del hilo para que el cobre quede desnudo. Una vez que el cobre esté desnudo podrá llevarse a cabo la conexión eléctrica del terminal.

Existen distintas formas de retirar el esmalte. Una de ellas puede ser con láser, o también aplicar calor localizado en la salida de hilo esmaltado hasta una temperatura en la que el esmalte se funda y el cobre no. Una vez “quemado” el esmalte, puede retirarse a través de un cepillado.

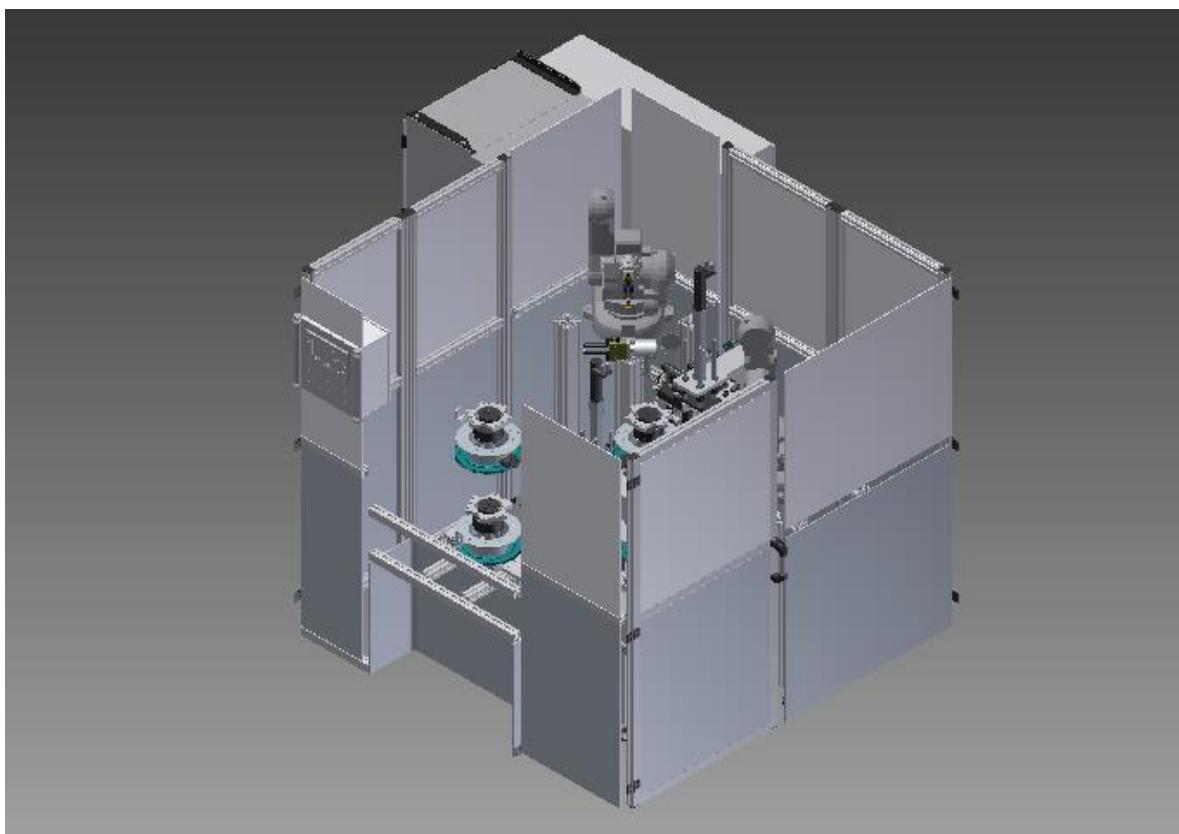
Compactado del terminal

Para finalizar la unión eléctrica del terminal, la salida de hilos limpia (ya no tiene esmalte) se compacta a través de una soldadura por resistencia.

Dos electrodos de wolframio contactan con los hilos de cobre para calentar fuertemente el conjunto y que queden unidos mecánicamente y eléctricamente.

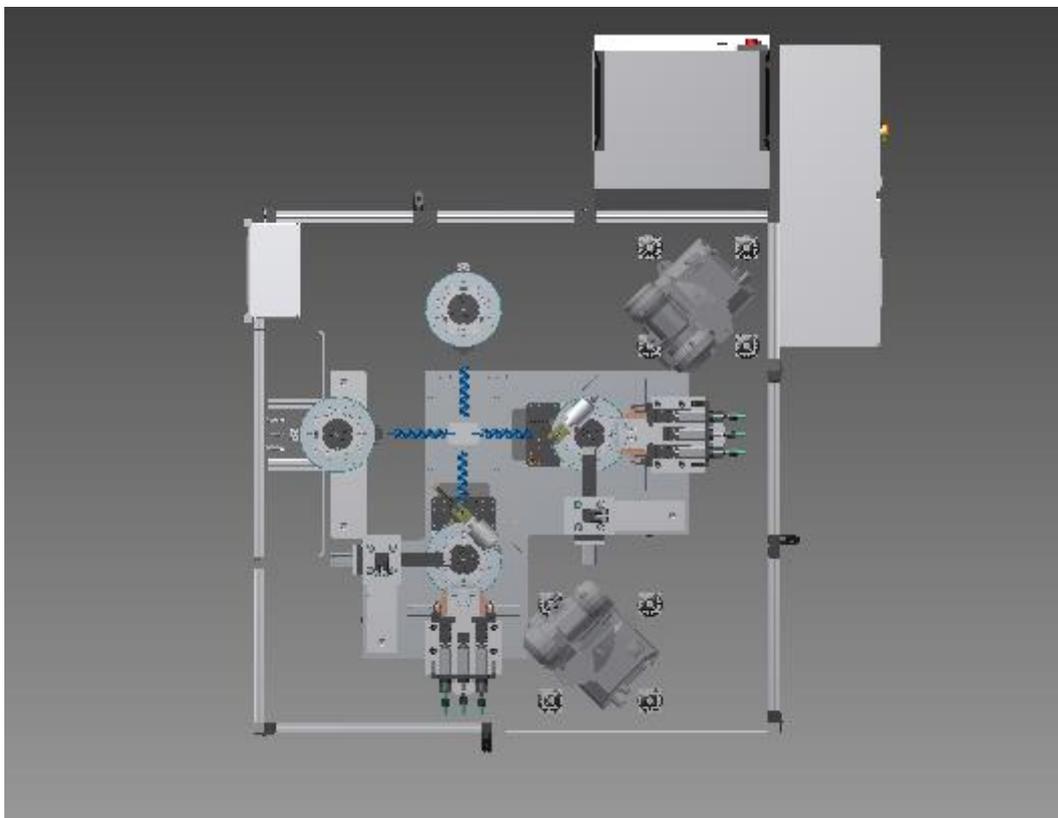
1.1.2 La máquina de conexión de terminales.

La máquina de partida y con la que vamos a desarrollar el proyecto es la encargada de realizar la conexión entre las distintas fases del estator.



Vista general de la máquina de conexión de terminales.

Como se observa en la figura anterior lleva una protección perimetral cerrada en la que existe una única zona de interacción entre el operario y la máquina. Esta zona es la zona de carga y descarga de piezas.



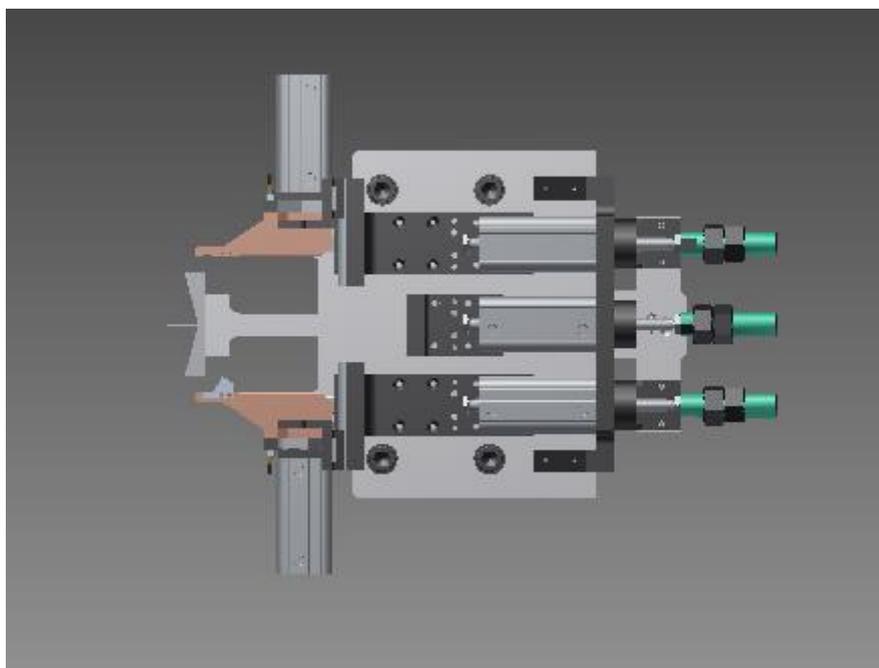
Vista en planta de la máquina.

Por otro lado la vista en planta de la máquina refleja cuatro posiciones de trabajo. La primera (a la izquierda de la figura) es la estación de carga y descarga y dónde interactúa el operario con la máquina. Esta estación es muy sencilla y sólo consta de un elevador que libera la pieza de su registro para recibirla o entregársela del o al operario. Además cuenta con una barrera fotoeléctrica que protege al trabajador de una posible intromisión en las otras zonas que tienen accionamientos que están en movimiento cuando el operario realiza sus tareas.

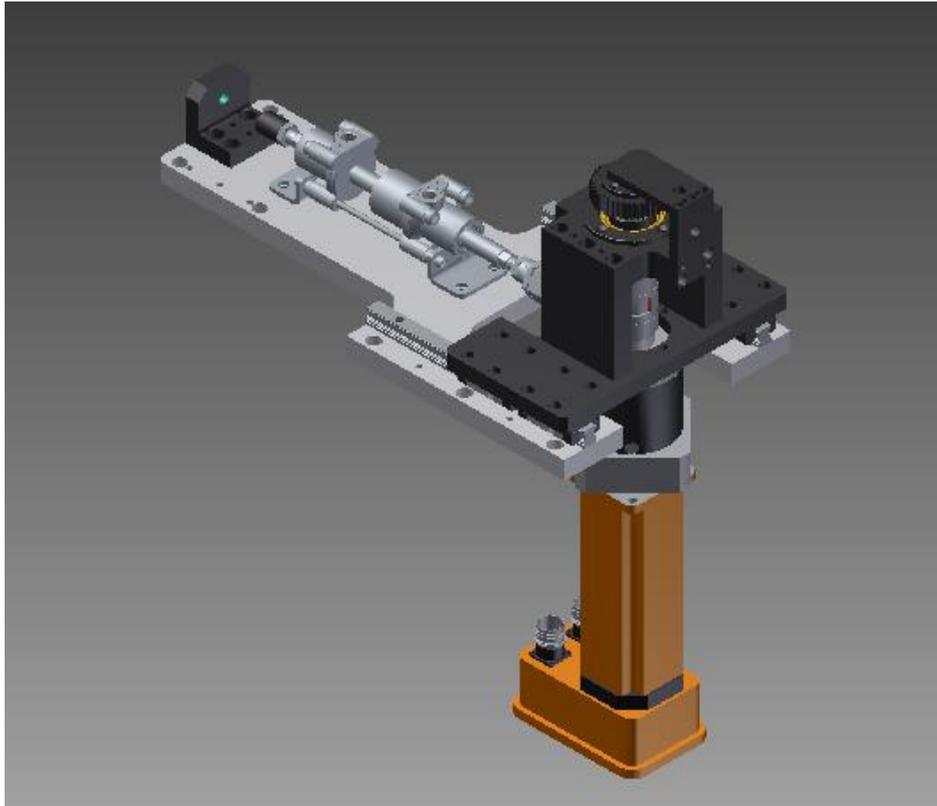
La segunda (abajo y en el centro) es la primera estación de trabajo. Para conectar los terminales tenemos que moverlos a su posición de conexión y posteriormente agarrarlos y trenzarlos conjuntamente. Terminaremos cortando el resto de hilo para darle un acabado de calidad.

Posicionamiento angular del terminal

Para hacerlo vamos a hacer uso de dos mecanismos: el primero se trata de unos dedos o pinzas accionadas neumáticamente que se moverán para atrapar las salidas de hilo. Y el segundo, se trata de un servomotor para posicionar angularmente la pieza.



Sistema neumático de dedos y pinzas.



Servomotor para giro de pieza.

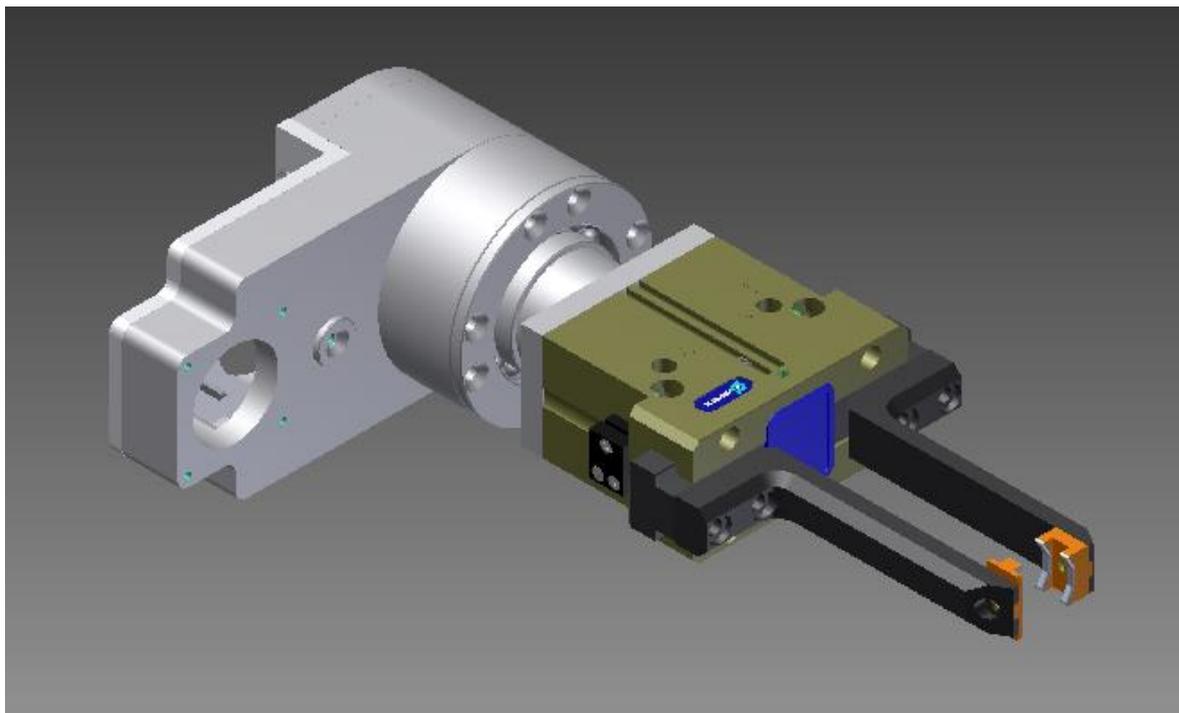
Los pasos del proceso son los siguientes:

- 1- El servomotor gira la pieza hasta una posición angular determinada, lugar dónde debe realizarse la conexión.
- 2- El accionamiento neumático, que tiene dos movimientos, primero avanzará con sus dos dedos abiertos para colocarse junto a los dos terminales a conectar. Una vez ahí, cerrará los dedos para unir ambas salidas en la posición angular que marcó anteriormente el servomotor.

En esta posición la máquina queda en espera de la siguiente operación: el trenzado del terminal.

Trenzado de los terminales

El encargado de realizar el trenzado de los terminales es un pequeño robot ABB IRB 140 dotado de una pinza en su muñeca.



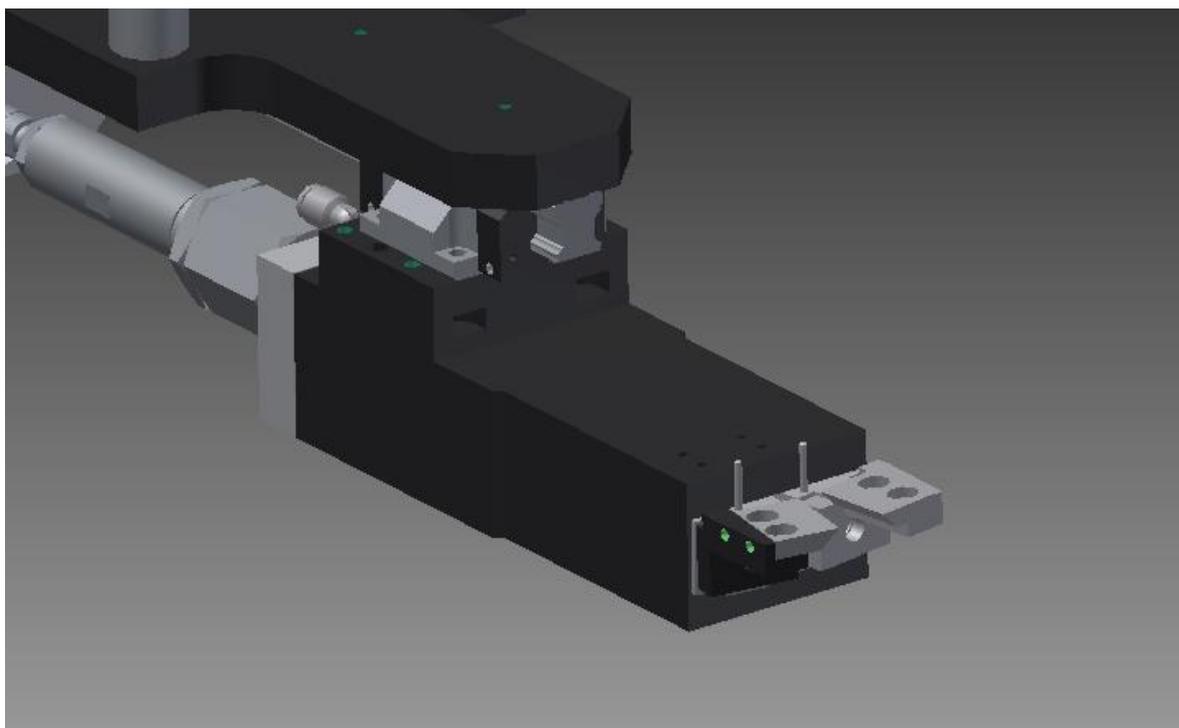
Pinza del robot IRB 140.

El robot efectuará una trayectoria hasta la posición marcada por el conjunto descrito anteriormente, atrapará ambos terminales con las pinzas y las trenzará en sentido horario.

Cabe destacar que el punto de trenzado del robot es siempre el mismo y no cambia en función del terminal a conectar. Los que realizan el trabajo de buscar el hilo y situárselo al robot en posición son el servomotor y el accionamiento neumático.

Corte de restos.

Para darle un acabado de calidad a la operación, se cortarán los terminales a una altura determinada. Esto facilitará las operaciones posteriores del proceso.



Corte de terminales.

Volvamos a la vista en planta de toda la máquina: la tercera estación (a la derecha) es otra estación de trabajo similar a la que hemos descrito.

En la máquina actual estas estaciones similares se reparten el trabajo de conexión para reducir el tiempo de ciclo. Cada estator tiene 5 o 6 terminales que conectar. En consecuencia cada estación realiza dos o tres hilos cada una. El tiempo de ciclo conseguido por cada máquina es de **30 segundos**, es decir, cada 30 segundos terminan una pieza conectada.

Por último, la cuarta estación: ¡está libre! Veremos qué posibilidades nos da.

1.1.3 Posibilidad de automatización del proceso.

La máquina de partida, la de conexión de terminales, tiene un tiempo de ciclo de 30 segundos. Esto significa que puede fabricar 2200 piezas diarias a una rendimiento del 80%.

¿Cómo podemos afrontar un posible aumento de la demanda que nos exija fabricar el doble o incluso el triple de piezas? Obviamente la primera respuesta es comprar más máquinas conectoras que reduzcan el tiempo de ciclo hasta nuestro límite:

12 segundos (recordemos que era el tiempo de ciclo del barnizado); situación que nos permitirá fabricar hasta 6000 piezas diarias.

Ahora la cuestión es cómo situar estas nuevas máquinas. La primera opción es la de ponerlas en paralelo. Las tres máquinas en paralelo fácilmente conseguirán el tiempo de ciclo de 12 segundos, ya que 30 segundos entre 3 máquinas dan un total de 10 segundos: conseguido.

Sin embargo, el inconveniente de esta solución es que, cómo describíamos antes, las máquinas tienen un punto de interacción con el operario donde el carga y descarga la instalación. Por tanto si añadimos dos máquinas, tenemos la obligación de añadir dos operarios.

Para afrontar nuestro incremento de demanda hemos comprado más máquinas y hemos contratado dos personas extra. No parece mala solución, pero sigamos...

Veamos una segunda opción, la de colocar las máquinas en serie. Compró dos máquinas y las situó una delante de la otra de manera que se repartan la fabricación de una pieza. Esto es: si en la situación pasada cada estación hacía 3 hilos en 30 segundos (10 segundos por hilo), ahora cada estación hará un único hilo, y por tanto cada máquina, y la instalación en serie, tendrá un tiempo de ciclo de 10 segundos. El objetivo de aumentar la cantidad fabricada está conseguido, pero ¿Cómo lo hacemos?

En la actualidad, tenemos un solo punto de interacción entre operario y máquina, en consecuencia la primera idea es: comprar dos máquinas y contratar dos operarios que saquen las piezas y a través de bandas las se las pasen entre las máquinas.

No parece una idea muy óptima, y además muy incómoda. Pero, recordemos que en la descripción de las máquinas conectoras tenemos una estación libre. Esta estación libre, podemos modificarla para que sea un segundo punto de interacción entre el exterior y la máquina.

Ahora bien, tenemos dos puntos de interacción entre exterior y máquina y tres máquinas en serie. El trabajo de los operarios se reduce a lo siguiente: el primero coloca la pieza en posición y endereza los hilos, sin embargo el segundo y el tercero, que hemos contratado, realizan la tarea de recoger de una máquina y colocar en otra, sin realizar a la pieza ninguna modificación; hacen un “pick and place”.

Un “pick and place” es un mero transporte de piezas, que no genera valor añadido. En consecuencia, contratar dos trabajadores para hacer algo que no tiene valor añadido, es un mal gasto. Una opción muy coherente es instalar robots que hagan la interacción entre las máquinas y el exterior. La primera máquina la cargará un operario, ya que debe colocar la pieza en posición y enderezar las salidas; un manipulador automático tomará la pieza de la máquina 1 y meterá en la máquina 2; otro manipulador automático tomará la pieza de la máquina 2 y la meterá en la máquina 3 y por último un tercero sacará la pieza de la máquina 3 y la pondrá en una banda de salida hasta el siguiente proceso.

En mi opinión es la idea más óptima que hemos tenido; vamos a resumirlas:

- 1- Tres máquinas en paralelo. Se deben adquirir dos máquinas conexionadoras y contratar dos trabajadores.
- 2- Tres máquinas en serie. Se deben adquirir dos máquinas conexionadoras y contratar dos trabajadores. Las dos personas contratadas no generan valor añadido.
- 3- Tres máquinas en serie. Se deben adquirir dos máquinas conexionadoras y tres manipuladores automáticos que transporten las piezas entre las máquinas y el exterior. Además las máquinas deben modificarse para añadir un punto de interacción entre el exterior y la máquina.

Por ahora nos quedamos con la tercera, aunque apreciemos un detalle: si pongo la banda de salida muy cercana a la última máquina, el transporte que hace el tercer manipulador es muy pequeño y tardará muy poco tiempo, con lo cual estaremos desperdiciando sus posibilidades. Podemos eliminarlo siempre y cuando el segundo manipulador tenga tiempo de intercambiar las piezas en proceso entre las máquinas 2 y 3, y pueda también descargar la pieza terminada a la banda de salidas. Por tanto:

- 4- Tres máquinas en serie. Se deben adquirir dos máquinas conexionadoras y dos manipuladores automáticos, que transporten las piezas entre las máquinas y el exterior. Además dos de las tres máquinas deben modificarse para añadir un punto de interacción entre el exterior y la máquina.

La tercera conexionadora no necesita modificación ya que en la misma estación gestionaremos descarga a banda de pieza terminada y carga de piezas en proceso. La única limitación de esta idea es la posibilidad de no conseguir el tiempo de ciclo.

Para acometer el proyecto vamos a quedarnos con la cuarta opción optimizando las trayectorias de los dos manipuladores con el objetivo de conseguir un tiempo de ciclo máximo de 12 segundos (nuestro límite: el barnizado).

1.2 DISEÑO DE LA CELULA.

En este capítulo de la memoria desarrollaremos todos los aspectos del diseño de la instalación industrial. Comenzaremos con la descripción general del proceso diseñado; cómo colocaremos las máquinas en el lay out final y su justificación; hablaremos de las modificaciones que haremos a las máquinas y de los dos tipos de garras que añadiremos a los robots. En la parte final del capítulo hablaremos de seguridad, una de las partes más importantes de este proyecto: las medidas a tomar para que la instalación no genere riesgos para los trabajadores, basándonos en la normativa.

1.2.1 Descripción del proceso diseñado.

El proceso que he diseñado consiste en la conveniente distribución de tres máquinas de conexión de terminales en serie para poder robotizar las operaciones de “pick and place” entre las máquinas.

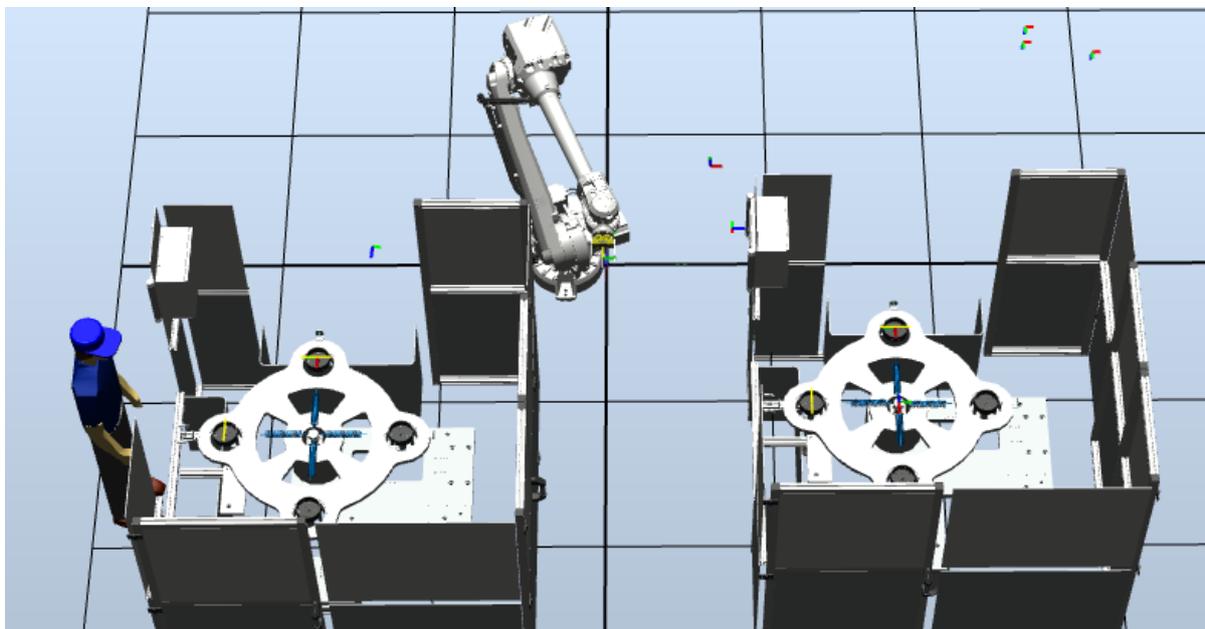
En consecuencia hemos convertido tres máquinas con una misma función en una célula, en una única instalación industrial con la tarea determinada de realizar la conexión de fases del estator.

La primera carga a la célula de fabricación la realizará un operario experto. Este puesto es muy necesario e importante. Al operario le llegan los estatores almacenados en cajas, en ninguna posición determinada y con los hilos doblados. El trabajador debe tomar la pieza y colocarla en el registro de la instalación en una posición angular determinada y debe enderezar correctamente los hilos para que el trabajo de las máquinas sea óptimo y no se produzcan rechazos. Una vez hizo su tarea debe accionar la puesta en marcha de la instalación. El tiempo de ciclo del operario se estima de 9 segundos.

Los estatores tienen 5 o 6 terminales que conectar, en función de su familia. Por tanto la primera máquina de la instalación, una vez se accione el ciclo, realizará la conexión del primer terminal en su estación nº1 y realizará la conexión del segundo terminal en la estación nº2.

La tercera vez que se accione el ciclo, la pieza quedará liberada en la estación nº3 y mandará un mensaje de Permiso de Entrada al robot que está en reposo y en

espera. El robot recogerá la pieza de la máquina 1 y la colocará en la máquina 2. Una vez colocada la pieza y que haya salido de la máquina 2, el robot da permiso a la misma a girar su mesa y comenzar su proceso.



Operario, MQ1 y MQ2.

En la máquina 2 llevaremos a cabo procesos muy similares a los de la máquina 1, conectando el tercer terminal en su estación 1 y el cuarto terminal en la estación 2. Una vez se acciona el tercer giro, el estator queda en la estación 3, en espera, hasta que entre el robot nº2.

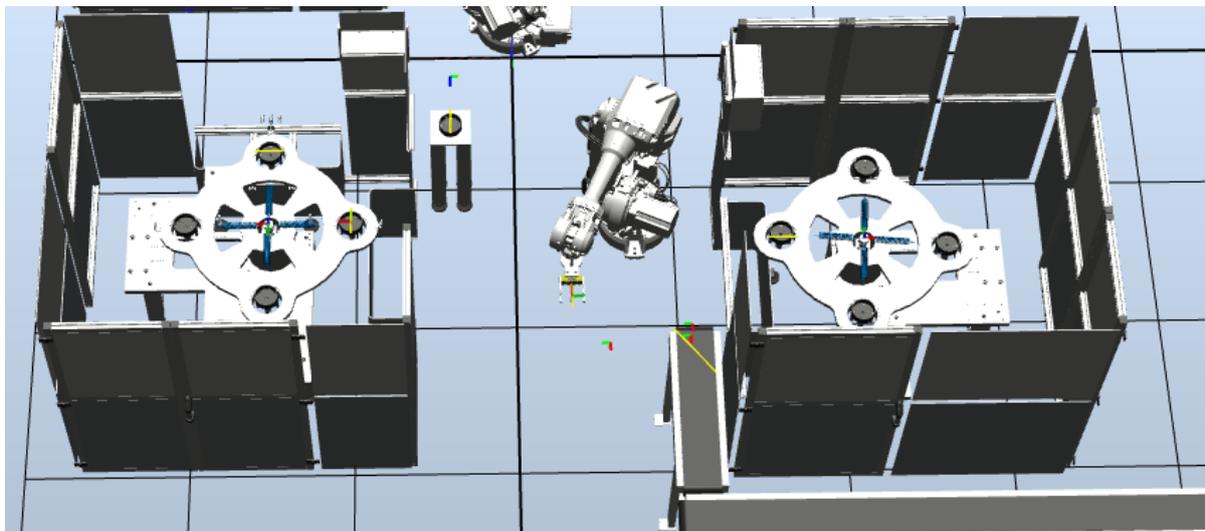
El segundo robot tiene dos tipos de operativa:

- 1- Si la tercera máquina está vacía, tomará la pieza de la máquina 2 y la colocará directamente en la máquina 3.
- 2- Si la tercera máquina ya tiene pieza terminada, tomará la pieza de la máquina 2 e irá hacia la máquina 3. En ella, primero descargará la pieza acabada y luego cargará la que está en proceso.

Cuando salga de la máquina hacia la banda de salida accionará el permiso de movimiento de la última máquina y se realizarán las conexiones restantes.

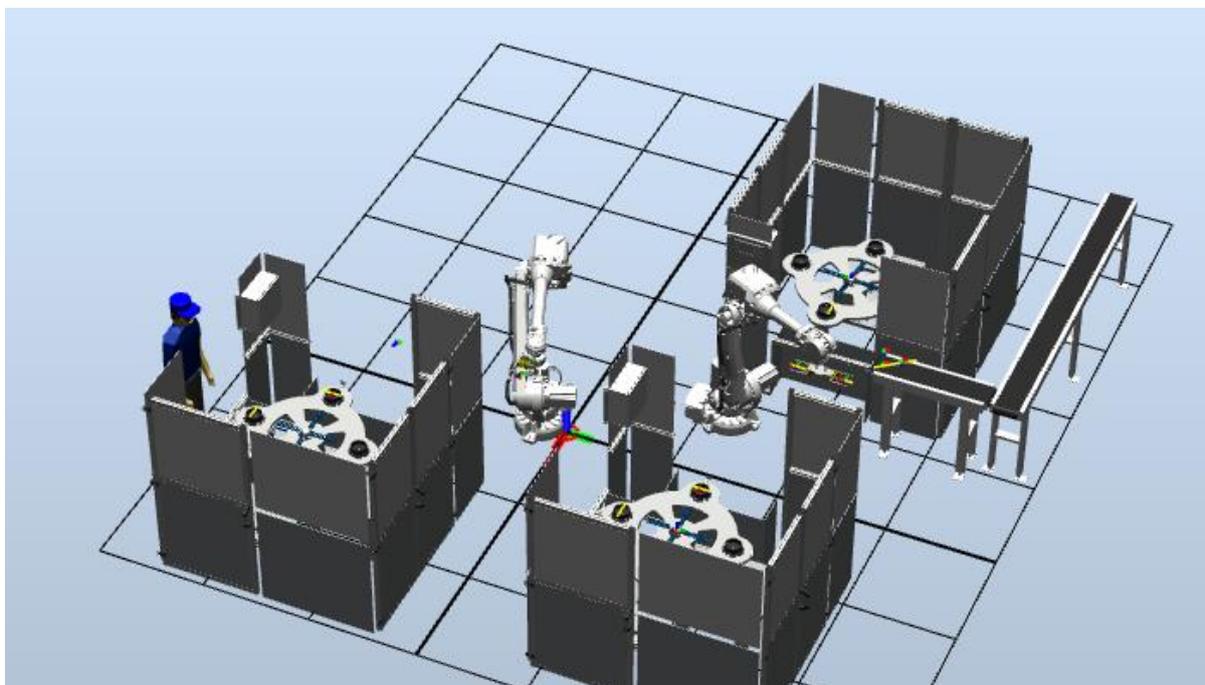
Para hacer esta doble función, el robot 2, tiene una garra de doble pinza. Por tanto en la máquina 2 recogerá con la Pinza 1, irá hacia la máquina 3 dónde tomará con la Pinza 2 la pieza acabada, saldrá de la máquina, girará 180º su muñeca y colocará

en la máquina 3 la pieza en proceso de Pinza 1. Volverá a salir y descargará la pieza de la Pinza 2 en la banda de salida.



MQ2, MQ3 y Banda de salida.

Toda esta operativa debe tener un tiempo de ciclo de 12 segundos. El primer robot tiene una trayectoria más larga, pero sólo manipula un estator. El segundo robot, aunque manipula dos estatores, tiene una trayectoria mucho más corta. Ambos compromisos permiten que el tiempo de ciclo se consiga.



Instalación completa

En cuanto a la comunicación entre robots y máquinas, vemos que es muy sencilla: simplemente la máquina le da “Permiso de Entrada” al robot, cuando no está girando su plato y ha liberado la pieza; y el robot le da “Permiso de Giro” cuando ha tomado la pieza y ha salido de la máquina. Por tanto, pocas señales que comunicaremos entre los autómatas a través de un switch.

1.2.2 Reacción ante averías: la producción no se detiene.

Cuando diseñé este proceso tuve en cuenta también la necesidad de no parar la producción.

Si, desafortunadamente, existe una avería puede que haya tiempo de parar la producción y repararla. Pero ¿Qué ocurre si estamos ante una entrega urgente y debe posponerse la reparación unas horas? Entonces debemos preparar la instalación para este caso.

En consecuencia hemos tenido en cuenta 4 escenarios posibles.

Máquina de conexión N°1 averiada.

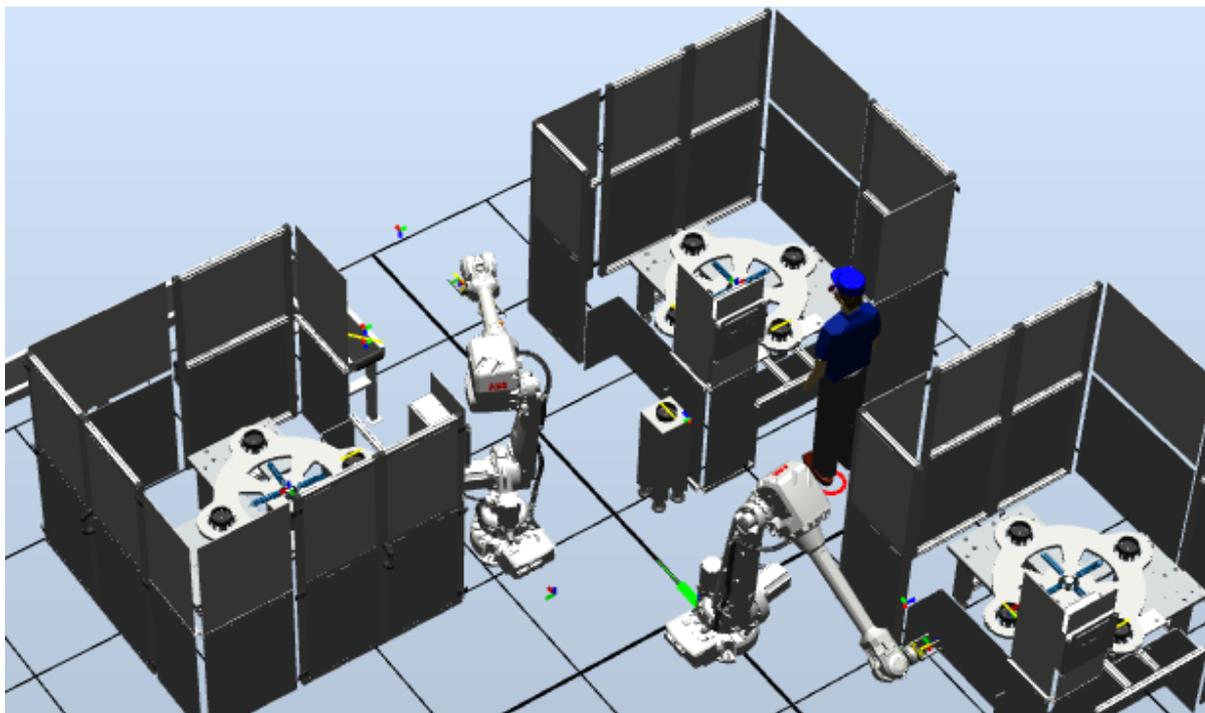
Cuando esto sucede el operario pasará directamente a cargar las piezas a la máquina n°2. Para ello el Robot 1 se retirará hasta una posición que no moleste al operario.

Cuando la máquina 2 dé “Permiso de Entrada” permitirá al trabajador colocar la pieza y enderezar los hilos. Cuando esté listo, el operario accionará el “Permiso de Giro”, que antes daba el robot, a través de un pulsador.

La máquina ahora conectará más salidas y tardará más tiempo (20 segundos), pero la producción continúa.

Es un caso muy sencillo, pero implica añadir una seguridad extra a la célula. Aunque el Robot 1 esté detenido, el robot 2 está en funcionamiento normal en el mismo entorno que el operario. En consecuencia, permitimos la entrada del operario a la instalación, pero sustituimos la puerta de seguridad por una barrera fotoeléctrica colocada entre la máquina 1 y 2 que proteja al trabajador en caso de intromisión en el entorno del robot 2, parándole completamente.

El robot 2 ejecuta sus trayectorias normales, descritas en el apartado anterior.



Operario en MQ2 y Robot 1 retirado.

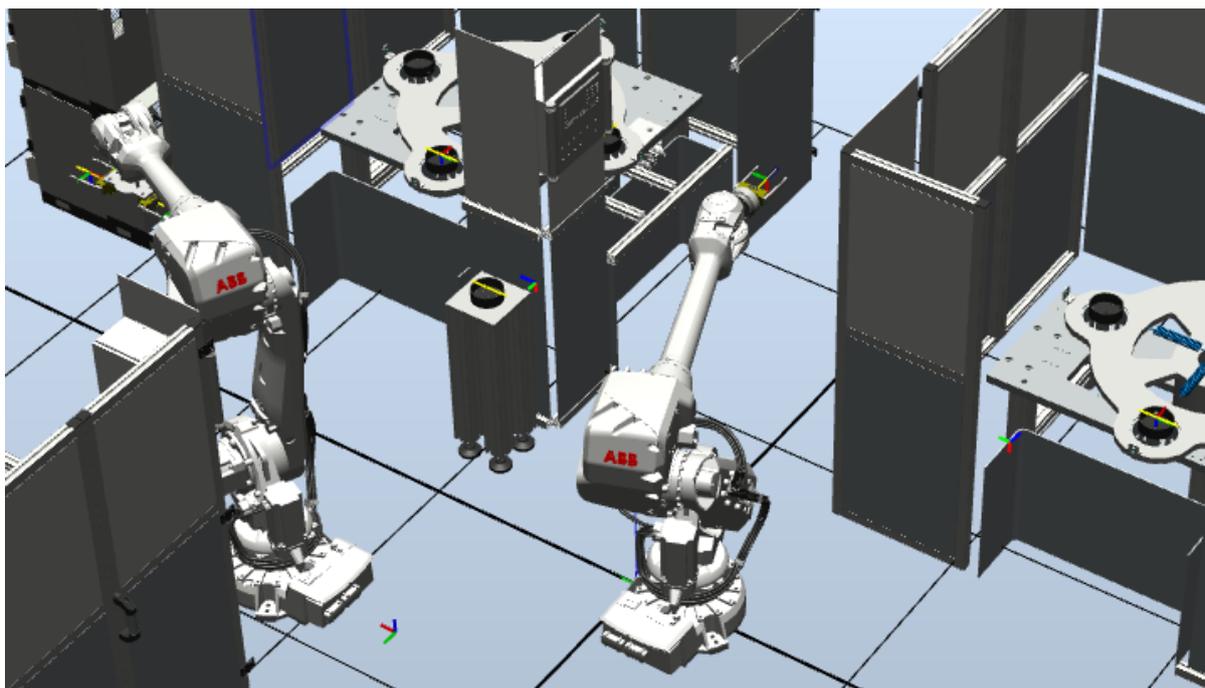
Máquina de conexión Nº2 averiada.

El segundo caso es un poco más complicado y no parece poder resolverse con lo que tenemos... Para poder trabajar en este caso he diseñado una pequeña mesa con un utillaje que sirve de intercambiador de piezas entre los robots.

Por tanto, el primer robot, una vez tome de la pieza de la primera máquina, no irá a descargar a la segunda máquina, sino que descargará en el “intercambiador”. Una vez deje la pieza en ese lugar dará “Permiso de Intercambio” al robot 2 que la recogerá del puesto y la llevará a la máquina 3.

Ambos robots realizan sus trayectorias naturales a la hora de trabajar en las máquinas no averiadas.

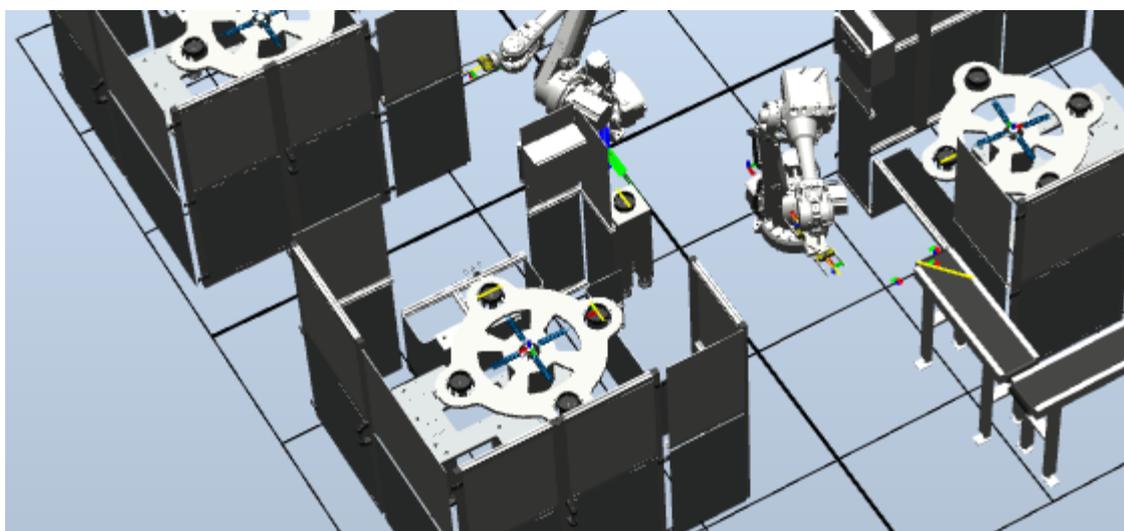
Otra vez, las máquinas conectarán más terminales, por tanto el tiempo de ciclo de las mismas se duplicará a 20 segundos, dejando de ser importante la velocidad de los robots.



Robot 1 y Robot 2 en reposo y la Mesa de intercambio

Máquina de conexión N°3 averiada.

En este caso, el robot 1 realiza todas sus trayectorias normales, sin embargo el robot 2, cómo no puede descargar en la máquina 3, que está averiada, hará lo siguiente: una vez tenga “Permiso de Entrada” tomará la pieza de la máquina 2 con la Pinza 1 y se desplazará directamente hacia la banda de salida dónde descargará con la Pinza 1 (a diferencia de su trabajo natural que descarga a banda de salida con la Pinza 2).



Vista de Robot 2 con Pinza 1 hacia afuera.

Robot averiado.

Por último veamos el caso más improbable: la avería de uno o de ambos robots. Cuando esto ocurra debemos utilizar operarios que realicen la tarea de transporte.

En consecuencia necesitamos que las estaciones modificadas tengan la misma seguridad que la estación de carga y descarga de la instalación. Esta seguridad, que es la que protege al operario que normalmente carga la instalación, consiste en dos barreras:

- La primera es una barrera fotoeléctrica vertical enfrentada al trabajador que no permite su entrada hasta que la máquina no envíe la señal “Permiso de Entrada”. Por tanto el trabajador no puede atravesarla hasta que el plato giratorio haya dejado de girar y haya liberado la pieza.
- La segunda es una barrera fotoeléctrica, también vertical que, ayudándose de un espejo de desvío, enmarca una zona en forma de “porción de queso” que abarca la estación de carga/descarga y que evita el riesgo de accidente en caso de que el operario se entrometa en las estaciones de trabajo de la máquina.

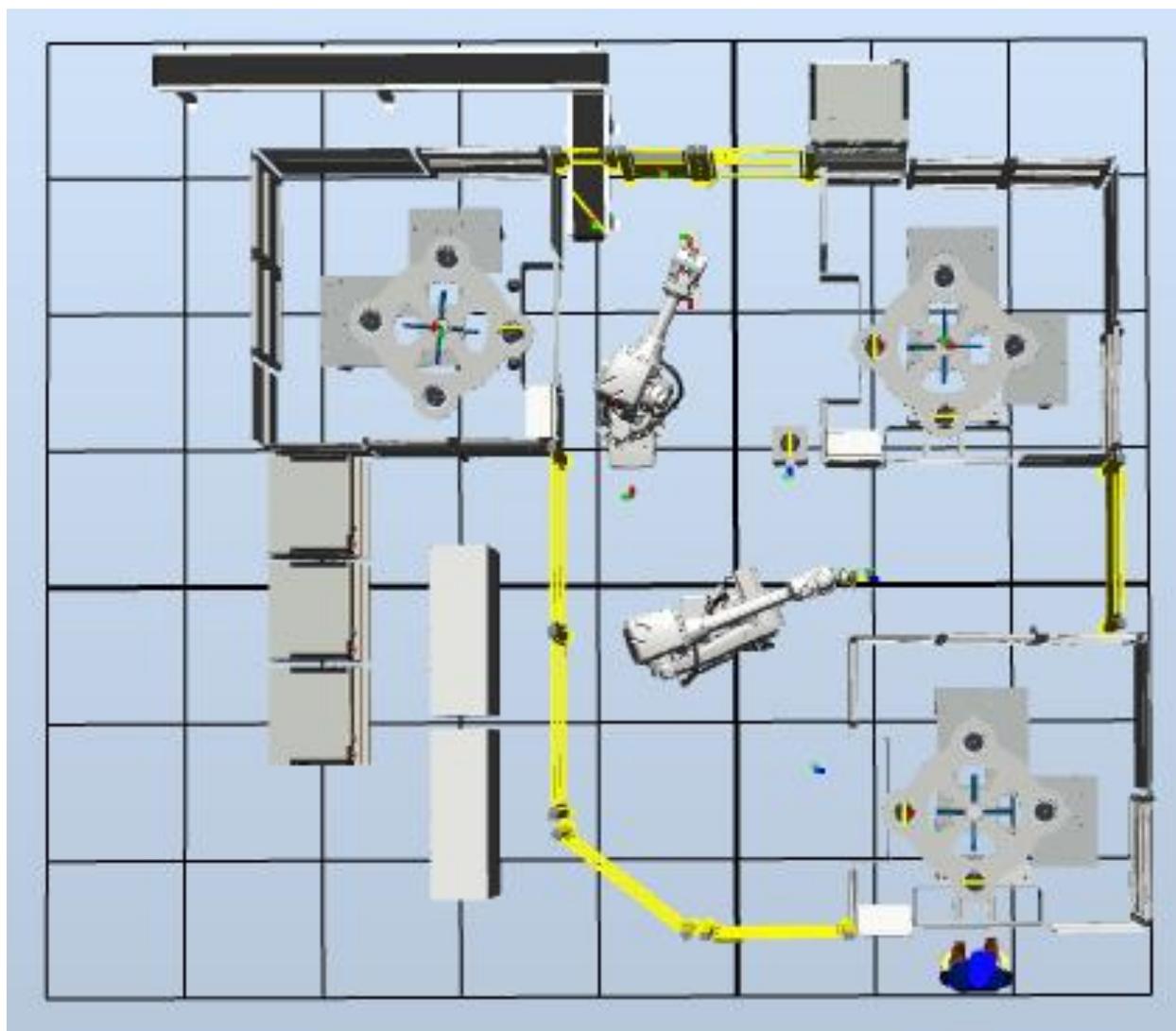
Entonces, una vez tenemos estas seguridades instaladas en todas las estaciones de carga/descarga, el proceso será el siguiente: las máquinas dan el “Permiso de Entrada” al operario que toma la pieza de la máquina y al salir con ella en la mano da a un pulsador que emite la señal de “Permiso de giro”. Lleva la pieza hacia la siguiente máquina, espera el “Permiso de Entrada” y carga la pieza. Nuevamente, cuando termine la carga y salga de la máquina dará al pulsador para emitir el “Permiso de giro” a la segunda máquina.

En toda esta operativa ambos robots están totalmente parados y con sus motores desconectados.

1.2.2 Distribución en planta de la instalación.

Hemos estudiado ya cómo queremos que sea nuestro proceso robotizado y ahora surge la pregunta de cómo colocar las máquinas y sus armarios eléctricos para que puedan cumplirse todos los procesos anteriores.

El resultado es el siguiente:



Vista en planta de la Instalación.

Consideremos las dos rayas negras oscuras como ejes de abscisas y eje de ordenadas y justifiquemos la distribución.

He colocado las máquinas en "L" para que ocupen un espacio lo más cuadrado posible y que ninguno de los robots necesiten un alcance exagerado.

Además se aprecia una gran distancia entre máquinas, de casi 1,5 metros. Se ha dimensionado de esta manera para permitir el trabajo ergonómico de los operarios cuando trabajan en el caso de "Robot averiado".

Los robots están estratégicamente situados para que sus trayectorias no tengan colisiones.

- Robot 1: Situado entre máquina 1 y máquina 2, tendrá que librar la protección de la máquina 1, sin echar demasiado atrás el cuerpo del robot, para evitar chocar con la valla perimetral.
- Robot 2: Situado justo entre máquina 2 y máquina 3 y muy cercano a esta última para que sus trayectorias sean cortas y pueda alcanzar el tiempo de ciclo de 12 segundos. Además debe alejarse del Robot 1 lo máximo posible, para no colisionar con él durante el trabajo.

La banda de salida está muy cercana a la estación de carga/descarga de la máquina 3 para que las trayectorias del robot 2 sean pequeñas.

La mesa de intercambio es pequeña y está justo entre los robots. Su situación no es problemática, pero debe evitar giros muy importantes del Robot 2 que se encuentra muy cerca de la última máquina.

Existe un detalle en la máquina 1. Esta se ha colocado 200 mm más alejada (en sentido x positivo) respecto a la máquina 2. La razón de este hecho es que necesitábamos evitar una colisión entre el cuerpo del robot y la protección de la máquina. También podría haberse evitado diseñando una garra más larga, pero esto no es elegante, ya que alejaríamos el centro de gravedad de la herramienta y obligaríamos al robot a realizar un trabajo más forzado.

Por último los armarios, tanto de las máquinas como de los nuevos robots, se han situado en la porción restante de nuestro cuadrado. Se han colocado fuera de la valla perimetral y dejando suficiente espacio para abrir todas las puertas. También puede observarse la instalación desde su situación. Existe un único armario que se ha dejado otra posición y pertenece a la máquina 2. Se ha mantenido en ese lugar para evitar alargar los cables de ese armario y ahorrar costes.

1.2.3 Elección de los Robots.

Dentro de la marca ABB tenemos distintos tipos y gamas de robots. Nuestra aplicación tiene dos particularidades encontradas que dificultan la elección del robot más adecuado.

- 1- La distancia entre máquinas, en particular, entre máquina 1 y máquina 2, exige un robot que pueda hacer trayectorias de hasta 2.5 m para llegar a las máquinas y evitar colisiones, sobre todo, con la máquina 1.
- 2- El peso de la herramienta más el estator es de 7,5 kg en el robot 1 y de 16 kg en el robot 2.

Debido a la primera condición, el primer robot, debe ser un IRB 4600, que viene con dos opciones.

- IRB 4600-20 kg-2.55 m: adecuado para la aplicación en cuanto a peso y distancia cubierta.
- **IRB 4600-40 kg-2.55 m**: sobredimensionado para nuestra aplicación, pero con el que nos quedamos por un motivo: flexibilidad ante un posible cambio en el proceso o cambio de aplicación para el mismo robot. Ajustarnos demasiado a los requerimientos del proceso evita posibles ampliaciones o nuevas opciones de automatización.

El segundo robot no necesita tanto alcance, pero necesita cargar con 16 kg. En consecuencia necesitamos un robot que pueda con ese peso. Una opción puede ser optar por un IRB 2600 que cumple las necesidades de trayectoria. Sin embargo va muy justo en cuanto a los requerimientos de carga. Estos robots harán muchos ciclos y a gran velocidad, por tanto, la posibilidad de tener inercias demasiado grandes en la herramienta deja descartados a estos robots.

En consecuencia volvemos a elegir un IRB 4600, con menor distancia abarcada que el robot 1, pero con capacidad de carga más que suficiente.

- **IRB 4600-45 kg-2.05 m.**

Que además también permite futuras ampliaciones o nuevas aplicaciones.

1.2.4 Planteamiento mecánico de las garras.

En este proyecto no pretendo realizar un diseño mecánico riguroso de las pinzas de los robots, pero sí he realizado un planteamiento de cómo deben ser las garras adecuadas para esta aplicación.

En primer lugar debo destacar que opté por una pinza neumática, no una eléctrica, ya que el dominio que se tiene de las mismas es todavía muy bajo. Además la neumática me brinda mayor fiabilidad.

En segundo lugar, en cuanto a la forma de agarrar la pieza, podemos hacerlo:

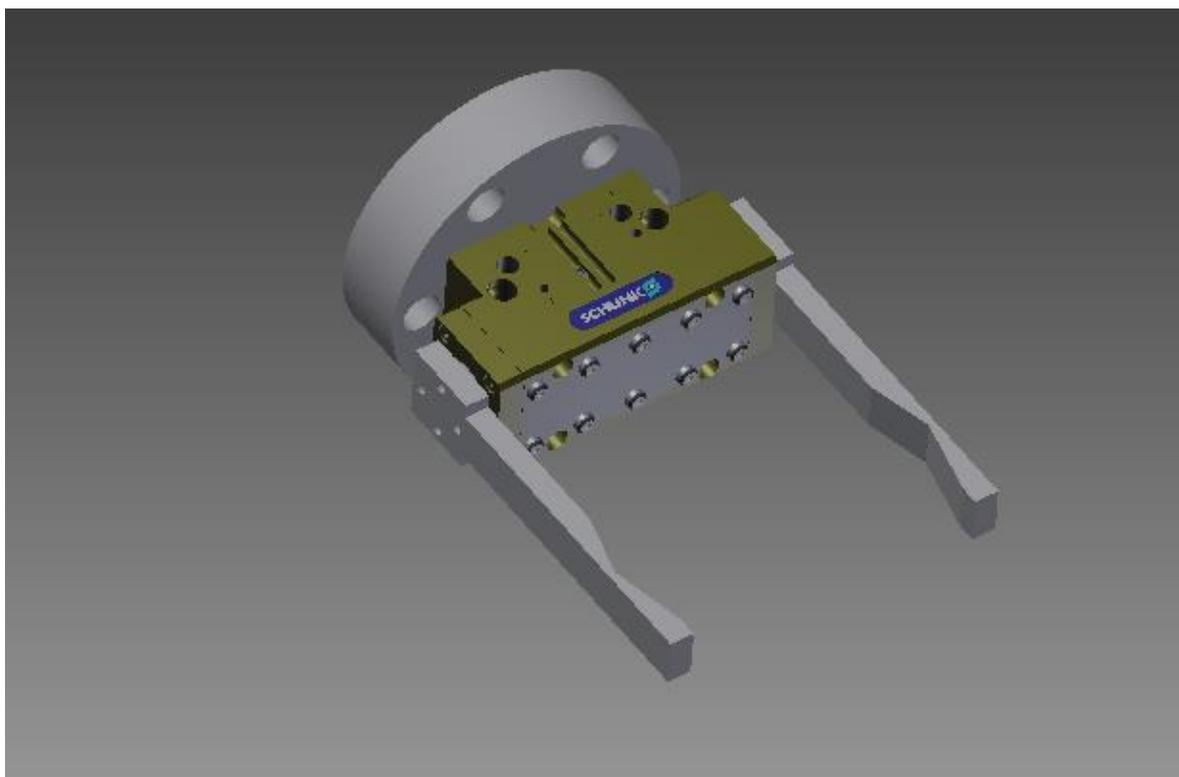
- 1- Con una pinza tres dedos desde el interior: queda descartado porque el utillaje de la máquina no permite el acceso a la pieza por el interior de la misma.
- 2- Con una pinza tres dedos desde el exterior: parece una buena idea, pero tiene un inconveniente; podemos mover los hilos no conectados con la estructura de la pinza, que quedará justo encima.
- 3- Con pinzas paralelas: idea que considero más adecuada ya que agarrando la pieza desde el exterior puedo tomarla con seguridad y sin modificar ninguna de sus salidas durante el movimiento.

Ahora que hemos optado por pinzas paralelas analicemos las dos garras diseñadas, la del robot 1 y la del robot 2.

Garra de robot 1

La garra del robot 1 es de simple pinza. Se trata de una pinza neumática paralela conectada a la brida del robot a través de una pieza redonda que sirve de distancial y de acoplamiento.

La forma de los dedos es recta, con un ángulo en la zona de agarre para asegurar dos líneas de contacto. Además, esta zona de agarre lleva un moleteado transversal.



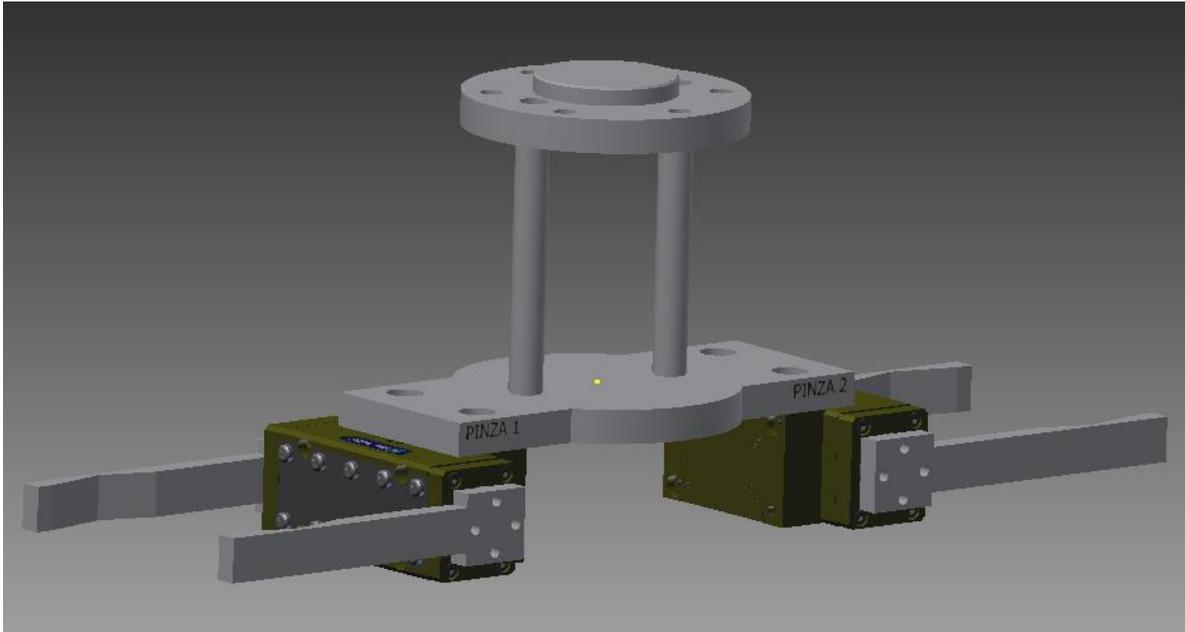
Garra de Robot 1.

Garra de robot 2

La garra del segundo robot es de doble pinza. Así lo necesitamos para hacer la carga y descarga en la máquina 3.

La garra lleva un disco que sirve de acoplamiento a la muñeca del robot. Desde ese disco salen dos guías largas que sirven de distancial para las pinzas. Este distancial evita colisiones de la herramienta y el propio robot durante los cambios de pinza. A su vez estas guías amarran una placa que sirve de alojamiento para las dos pinzas paralelas.

Las dos pinzas neumáticas son idénticas a las de la Garra del robot 1. Los dedos que realizan el agarre también son iguales.



Garra de Robot 2.

1.2.5 Modificaciones en las máquinas.

Para acometer el proyecto debemos modificar la máquina tal y como la tenemos conceptualizada hasta el momento.

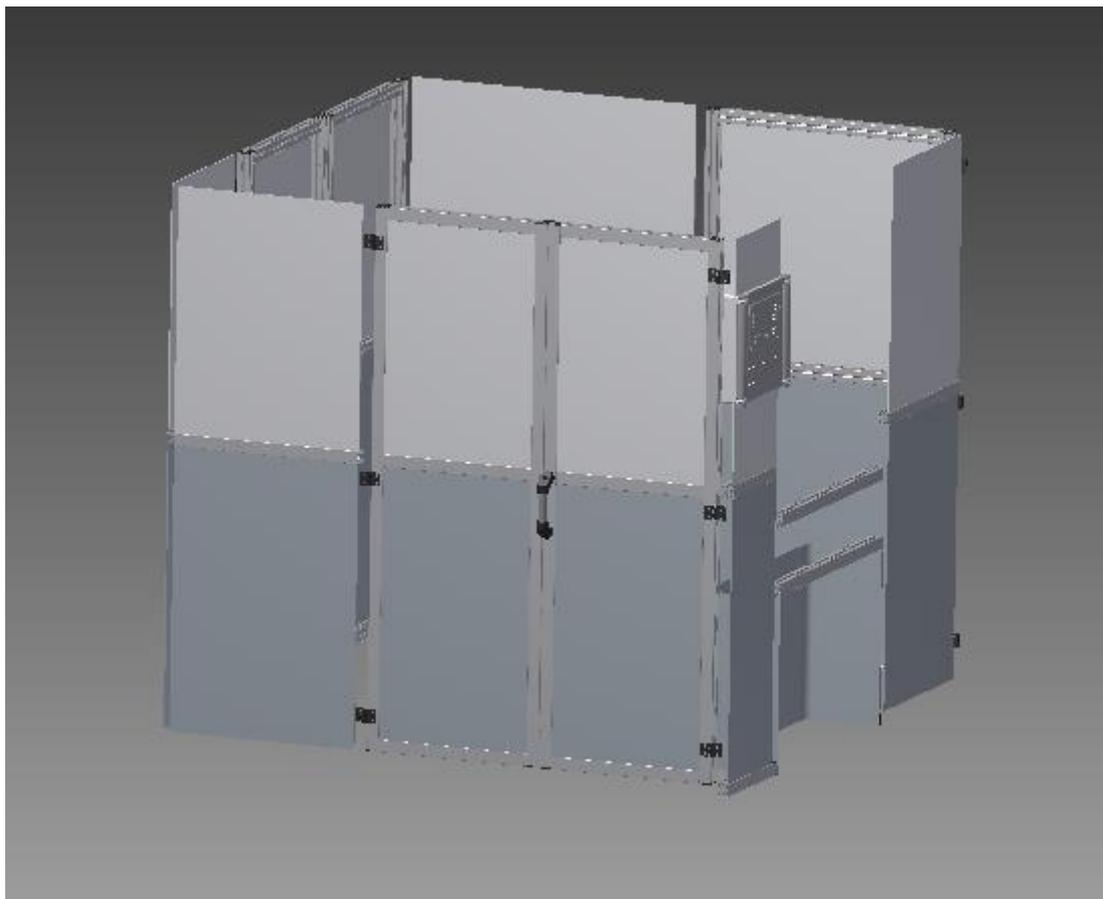
Las modificaciones mecánicas consisten en la adaptación de uno de los lados de la protección perimetral de la máquina y en añadir un elevador a la estación 3, para brindarle capacidad de carga y descarga.

Las modificaciones eléctricas consisten en añadir a dos cortinas fotoeléctricas a la estación de carga y descarga. Además al autómatas existente debemos agregarle una tarjeta de entradas y salidas para realizar la nueva gestión de liberar la pieza en la estación.

Recordemos que la tercera máquina, que podría ser la ya existente, se mantiene exactamente igual a la que tenemos.

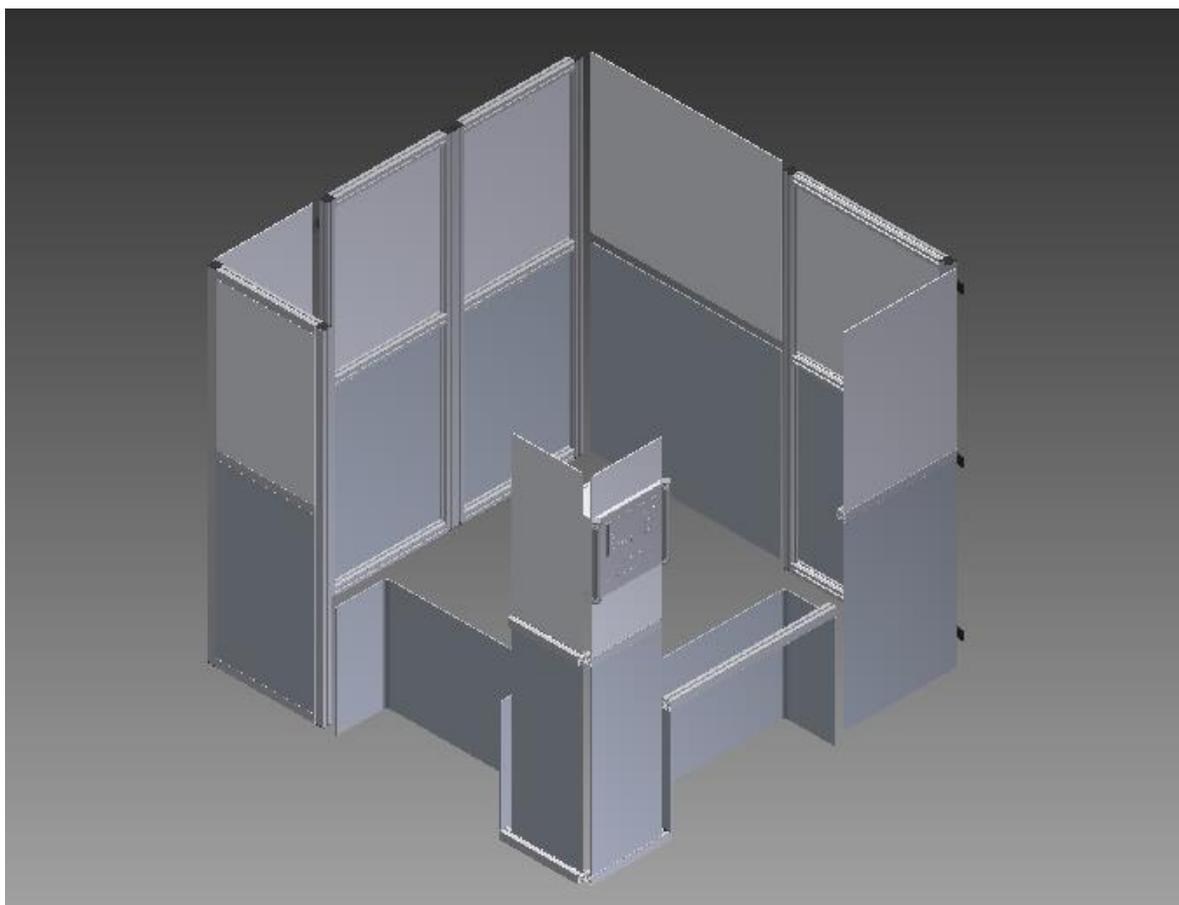
Protección perimetral

La modificación consiste en eliminar una puerta existente en la actualidad por una zona abierta que permita la entrada del robot o de un operario en caso del fallo del mismo.



Protección perimetral. De frente el paño a modificar.

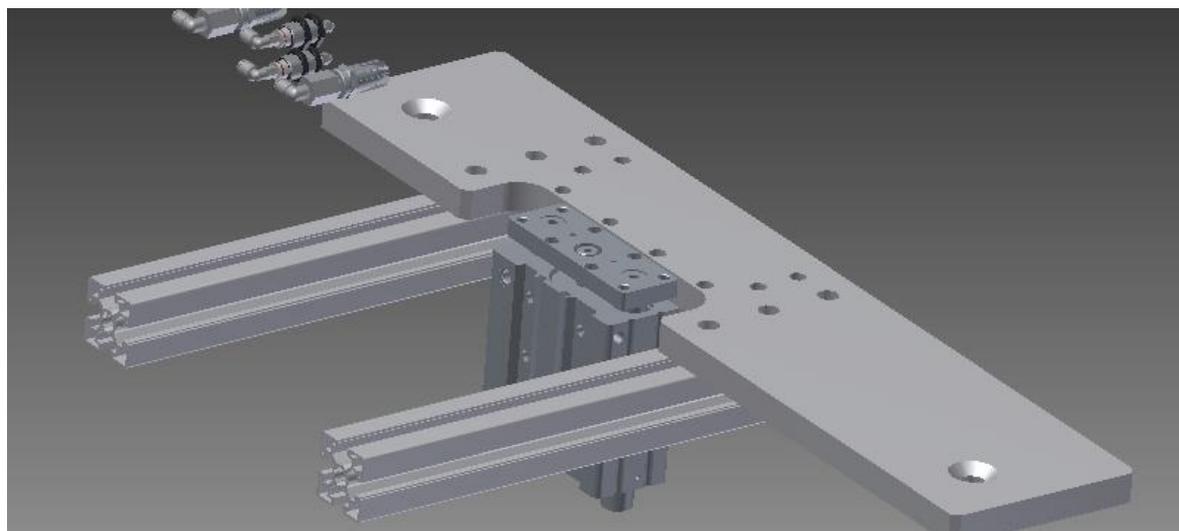
El nuevo paño debe llevar un tramo cerrado de 630 mm que proteja a un robot IRB 1400 que está trabajando en una de las estaciones de la máquina. La zona abierta, de 1000 mm, debe permitir la entrada del robot sin colisión. Además la parte inferior, en la zona de carga y descarga, debe tener una cavidad que no moleste al trabajador cuando realiza el intercambio a mano. El último tramo de protección sirve de estructura y de separación entre las estaciones de la máquina.



Protección perimetral modificada.

Elevador

Este apartado es muy sencillo porque simplemente imitaremos el elevador existente en la máquina actual, cuyo objetivo es liberar la pieza en las estaciones de carga y descarga.



Elevador.

Cortinas fotoeléctricas

Un punto muy importante de la estación es la seguridad de la zona. Por ello no debemos olvidar que montaremos dos barreras fotoeléctricas SICK. La primera consistirá en una cortina vertical que no permite la entrada del operario mientras el plato esté girando o la pieza se esté liberando. La segunda consistirá en una cortina vertical y un espejo de desvío para formar una “porción de queso” que proteja al trabajador cuando entra a recoger la pieza en la estación, ya que el resto de estaciones están en marcha.

1.2.6 Seguridad: vallado perimetral.

El vallado de seguridad está diseñado para cumplir con las normas europeas:

- **Directiva para máquinas 2006/42/CE.**
- **UNE-EN ISO 14120:2016:** Seguridad de las máquinas. Resguardos. Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles. (ISO 14120:2015).
- **UNE-EN ISO 12100:2012:** Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo. (ISO 12100:2010)
- **UNE-EN ISO 14119:** Seguridad de las máquinas. Dispositivos de enclavamiento asociados a resguardos. Principios para el diseño y selección.

En general está compuesto por cuatro tramos de reja firmemente anclada al suelo y a las máquinas conexionadoras. Tres puertas de reja, que nos permiten observar el proceso. Todas ellas tienen el marco perfectamente anclado. Además uno de los anclajes siempre está junto a la máquina.

Para desarrollar profundamente el diseño de las protecciones evaluemos, en primer lugar los riesgos de la instalación.

Los riesgos que supone la manipulación con robots son mecánicos: de aplastamiento, de atrapamiento y de impacto contra una parte móvil o contra un material proyectado. La posibilidad de materialización de estos riesgos es muy alta si los resguardos no se diseñan con cuidado, ya que los mismos están realizando movimientos programados automáticamente. Por otro lado, la probabilidad de

impacto de un material proyectado como puede ser una pieza es media, pero debe ser considerada. ¿Qué hay de la gravedad de estas situaciones? Tengamos en cuenta que trabajamos con robots IRB 4600 de 430 kg que se están moviendo a gran velocidad, y por consiguiente, con gran inercia. La gravedad es alta, pudiendo ocasionar la muerte de una persona en caso de recibir un impacto, ser aplastado o atrapado por el robot.

Como desde el diseño del robot no podemos eliminar el riesgo existente, vamos a eliminarlo a través de la protección.

La Directiva de máquinas exige que los resguardos o dispositivos de protección para las máquinas:

- Serán de fabricación sólida y resistente.
- Estarán firmemente sujetos en su lugar.
- No podrán ser burlados o anulados con facilidad.
- Estarán situados a una distancia adecuada de la zona peligrosa.
- Deberán restringir lo menos posible la observación del proceso productivo.
- Deberán permitir las intervenciones indispensables de colocación o sustitución de herramientas, operaciones de mantenimiento, sin tener, si es posible, que desmontar el resguardo de protección.
- Los resguardos deben proteger contra la proyección o caída de materiales u objetos.

La fijación de los resguardos fijos estará garantizada por sistemas que solo se puedan abrir o desmontar mediante herramientas. Los sistemas de fijación deberán permanecer unidos a los resguardos o a la máquina cuando se desmonten los resguardos (por ejemplo utilizando el sistema del “tornillo cautivo”). En la medida de lo posible, los resguardos no podrán permanecer en su posición si carecen de sus medios de fijación.

Por otro lado, la protección perimetral que hemos conceptualizado tiene tres puertas de acceso a la instalación. En consecuencia, estos resguardos móviles según la Directiva de máquinas deben cumplir:

- Deben permanecer unidos a la máquina cuando se abran.
- Solo se podrán regular mediante una acción voluntaria.

- Tendrán un dispositivo de enclavamiento de manera que: impidan la puesta en marcha de funciones peligrosas de la máquina mientras los resguardos no estén cerrados. Además deben generar una orden de parada cuando dejen de estar cerrados.

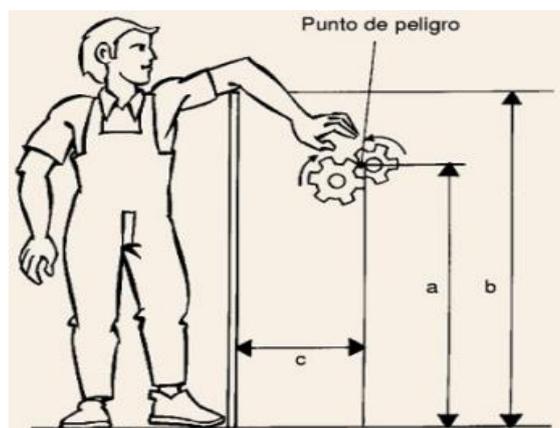
Cuando sea posible que un operador entre en una zona peligrosa antes de que haya cesado el riesgo; y es en este caso en el que nos vamos a poner nosotros con nuestra instalación; los resguardos móviles además de llevar enclavamiento llevarán un dispositivo de bloqueo que:

- Impida la puesta en marcha de las funciones peligrosas mientras el resguardo no esté cerrado y bloqueado.
- Mantenga el resguardo cerrado y bloqueado hasta que cese el riesgo.

Teniendo esto en cuenta comencemos con el diseño de la protección perimetral.

Altura de la protección

Partamos de la siguiente tabla:



DISTANCIAS DE UN PUNTO DE PELIGRO DESDE EL SUELO a mm	ALTURA DEL BORDE DE LA BARRERA b mm							
	2400	2200	2000	1800	1600	1400	1200	1000
	DISTANCIA HORIZONTAL DESDE EL PUNTO DE PELIGRO c mm							
2400	100	100	100	100	100	100	100	100
2200	-	250	350	400	500	500	600	600
2000	-	-	350	500	600	700	900	1100
1800	-	-	-	600	900	900	1000	1100
1600	-	-	-	500	900	900	1000	1300
1400	-	-	-	100	800	900	1000	1300
1200	-	-	-	-	500	900	1000	1400
1000	-	-	-	-	300	900	1000	1400
800	-	-	-	-	-	600	900	1300
600	-	-	-	-	-	-	500	1200
400	-	-	-	-	-	-	300	1200
200	-	-	-	-	-	-	200	1100
0	-	-	-	-	-	-	200	1100

Tabla para selección de altura de la protección.

El punto más cercano de nuestra instalación a un punto de trabajo de alguno de los robots es entre las máquinas 2 y 3 cuando el robot 2 pasa por su posición de reposo y por la posición de descarga a la banda.

La posición de reposo está a una altura $a=1280$ y a una distancia $c= 500$. Esto corresponde con una altura $b= 1600$. Por otro lado la posición de descarga a banda está a una altura $a= 950$ y a una distancia de $c= 400$. Esto corresponde con una altura $b= 1600$.

Mi elección, sin embargo, serán **1800 mm de la altura** para la protección perimetral. De esta manera, doy un coeficiente de seguridad a la decisión y además acerco la altura de la protección perimetral a la de la protección de la máquina.

Túnel en banda de salida

Aunque aseguremos esta altura existe un punto crítico en la banda de salida de piezas. Tenemos una reja que no impide el meter un brazo dentro de la instalación. Para evitar este riesgo vamos a montar un túnel de metacrilato que **sobresalga 600 mm desde la reja** hacia el exterior.



Imagen para evitar el atrapamiento de un brazo o mano.

Aberturas de la protección

Por último dimensionemos la abertura de los resguardos para impedir que personas a partir de 14 años alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores a través de aberturas regulares; correspondiendo las medidas de las aberturas (a) al lado de una abertura cuadrada, al diámetro de una abertura circular o a la menor medida de una abertura en forma de ranura.

		RENDIJAS		
		Paralelas	Cuadradas	Circulares
Tamaño de la abertura (mm)				
	DISTANCIA DE SEGURIDAD ds (mm)			

MANO HASTA EL PULPEJO 20 < a ≤ 30			
	≥ 850*	≥ 120	≥ 120
BRAZO HASTA LA AXILA 40 < a ≤ 120			
	≥ 850	≥ 850	≥ 850

Recorte tabla para selección de aberturas.

Observamos la columna central, ya que elegiremos **aberturas cuadradas**. Nuestra aplicación tiene puntos que están a una distancia de 500 mm por tanto deberíamos dimensionar en una abertura de tamaño entre 20 y 30 mm. Sin embargo, existe una excepción que dice que para aberturas menores que 65 mm la distancia de seguridad puede reducirse a 200 mm ya que el pulgar actúa como tope.

En consecuencia vamos a seleccionar una reja cuadrada con **abertura de 50 mm**.

Zona inferior de la protección

Observemos la siguiente tabla para asegurar que evitamos cualquier riesgo con las extremidades inferiores:

LIMITACIÓN DEL ACCESO POR DEBAJO DE LAS ESTRUCTURAS DE PROTECCIÓN				
a) Suelo de apoyo del operario. b) Articulación de la cadera c) Resguardo h) Distancia entre el reborde inferior del resguardo y el suelo				
	DISTANCIA DE SEGURIDAD ds (m)			
	DISTANCIA ENTRE EL REBORDE INFERIOR DEL RESGUARDO Y EL SUELO	CASO 1	CASO 2	CASO 3
	h ≤ 200	> 340	> 665	> 290
200 < h ≤ 400	> 550	> 765	> 615	
400 < h ≤ 600	> 850	> 950	> 800	
600 < h ≤ 800	> 950	> 950	> 900	
800 < h ≤ 1.000	> 1.125	> 1.195	> 1.015	

Zona inferior de la protección.

Elegimos una **altura desde el suelo hasta el inicio de la protección de 100 mm**, que cumple con la tabla anterior y con necesidades ergonómicas para el operario que observa el proceso desde fuera (su pie no chocará con la protección cuando se acerque a ella).

Además asegura que en caso de soltarse un estator de las garras del robot, no saldrá por la zona inferior de la reja golpeando los pies o piernas del operario.

Puertas de acceso

En la instalación disponemos de tres puertas de acceso. Estas puertas de acceso constituyen resguardos móviles cuyas dimensiones y características serán similares a las de los resguardos fijos que hemos descrito en los apartados anteriores.

Sin embargo, por ser resguardos móviles, llevarán un dispositivo de enclavamiento y bloqueo. El bloqueo no es obligatorio si, una vez abierto el resguardo, el movimiento cesa totalmente antes que ingrese el trabajador a la célula. En nuestro caso, no podemos asegurarlo y por eso decido agregar el bloqueo.

Ejemplos de principios de accionamiento		Ejemplos de actuadores		Tipo	Ejemplos: véanse anexos ⁸
Mecánico	Contacto/fuerza física	Sin codificar	Leva con movimiento rotativo	Tipo 1	A.1
			Leva con movimiento lineal		A.2, A.4
			Tipo bisagra		A.3
		Codificado	Actuador con forma de lengüeta	Tipo 2	B.1
			Transferencia de llave		B.2
Sin contacto	Inductivo	Sin codificar	Metal férreo adecuado	Tipo 3	C
	Magnético		Imán, electroimán		
	Capacitivo		Cualquier objeto adecuado		
	Ultrasónico		Cualquier objeto adecuado		
	Óptico		Cualquier objeto adecuado		
	Magnético	Codificado	Imán codificado	Tipo 4	D.1
	RFID		Etiqueta RFID codificada		D.2
	Óptico		Etiqueta óptica codificada		–

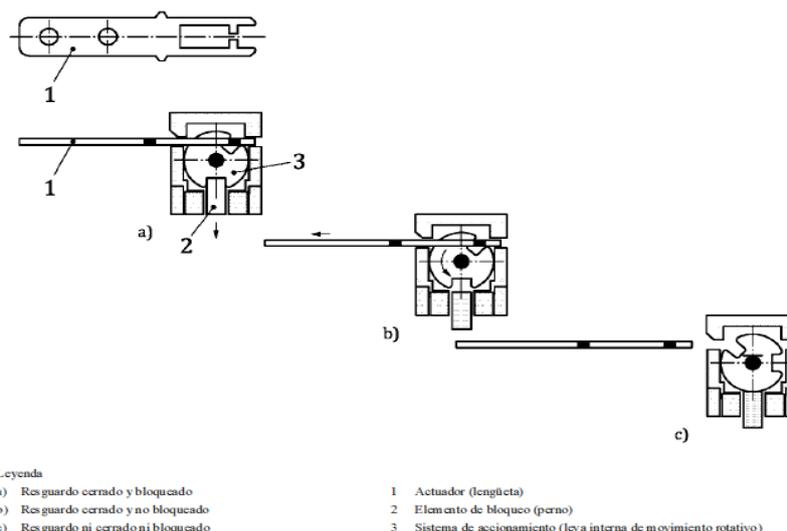
⁸ Ejemplos de otros dispositivos de enclavamiento se dan en el anexo E.

Dispositivos de enclavamiento.

De todas estas opciones elegiremos un **enclavamiento mecánico**, codificado con actuador en forma de **lengüeta**.

Además, será un resguardo con desbloqueo condicional, que significa que existe un paso intermedio entre el cese del riesgo y el desbloqueo del enclavamiento. Cuando cesa el riesgo, tenemos autorización de desbloquear el enclavamiento; una vez desbloqueado podemos abrir el resguardo. El bloqueo y desbloqueo lo haremos a través de una llave en el panel de mandos.

En la siguiente imagen podemos ver la descripción del tipo de enclavamiento seleccionado:

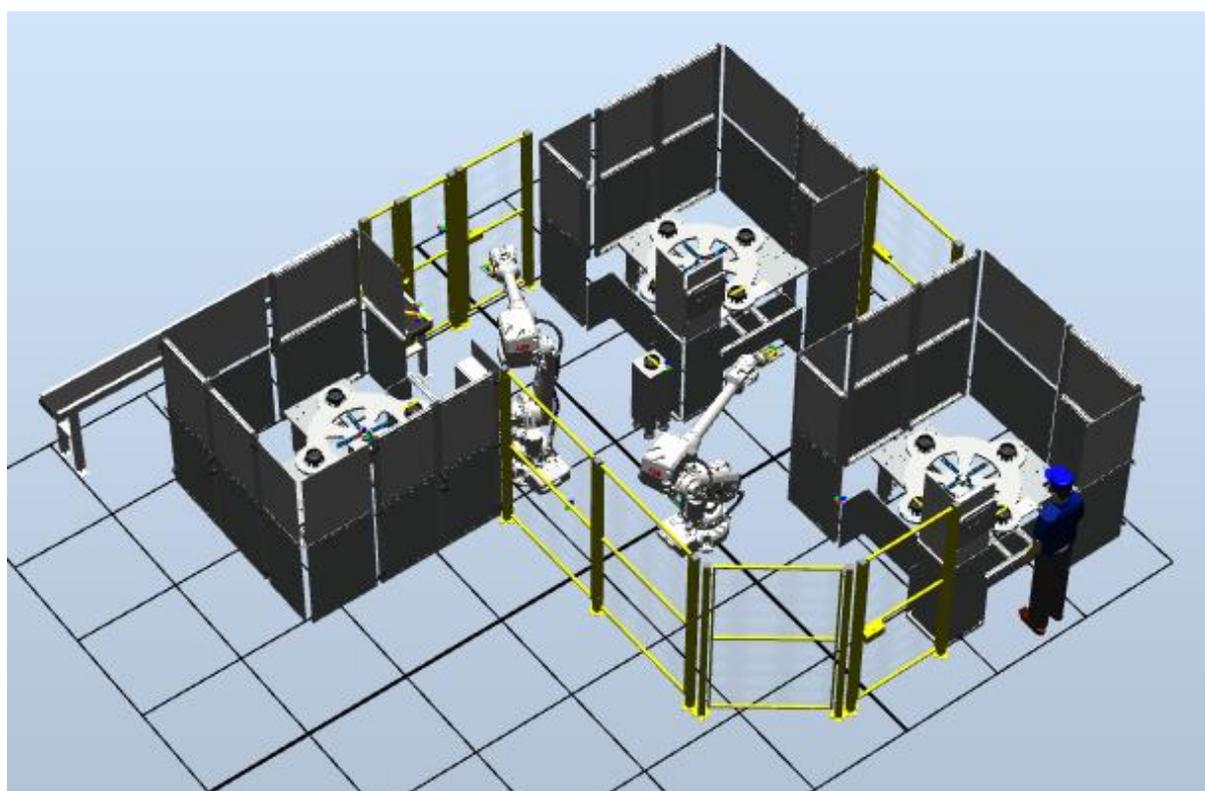
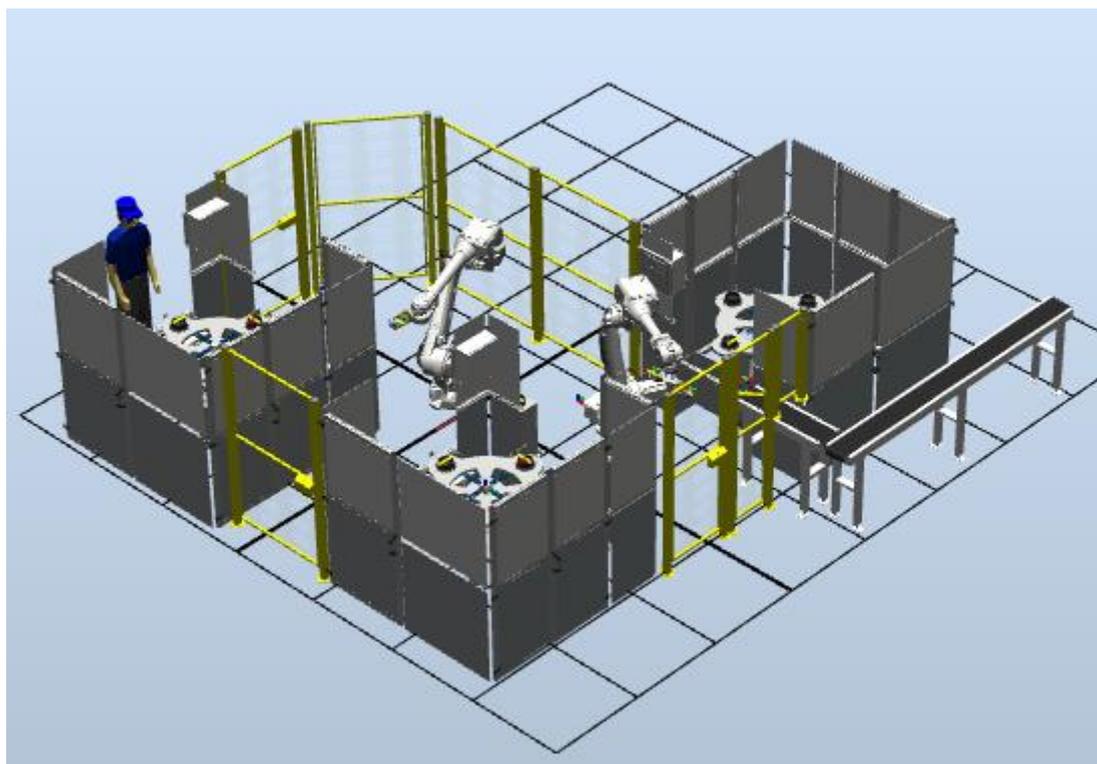


Enclavamiento mecánico de lengüeta, con bloqueo.

Entre los enclavamientos comerciales que hay en el mercado, seleccionaré el siguiente: **Telemecanique XCS-E como interruptor y el XCSZ05 como lengüeta**, por su sencillez y seguridad. Además añadiremos un relé de seguridad PILZ para realizar la apertura de la alimentación cuando se abre la protección.

Además, la instalación tendrá también un dispositivo de “transferencia de llave”. De manera que aunque cerremos el enclavamiento, para poder dar marcha a la instalación, debemos también cerrar una llave que se encuentra en el panel de mandos. De la misma manera, para poder desbloquear la protección, tendremos que abrir la llave.

Capturas de la instalación protegida

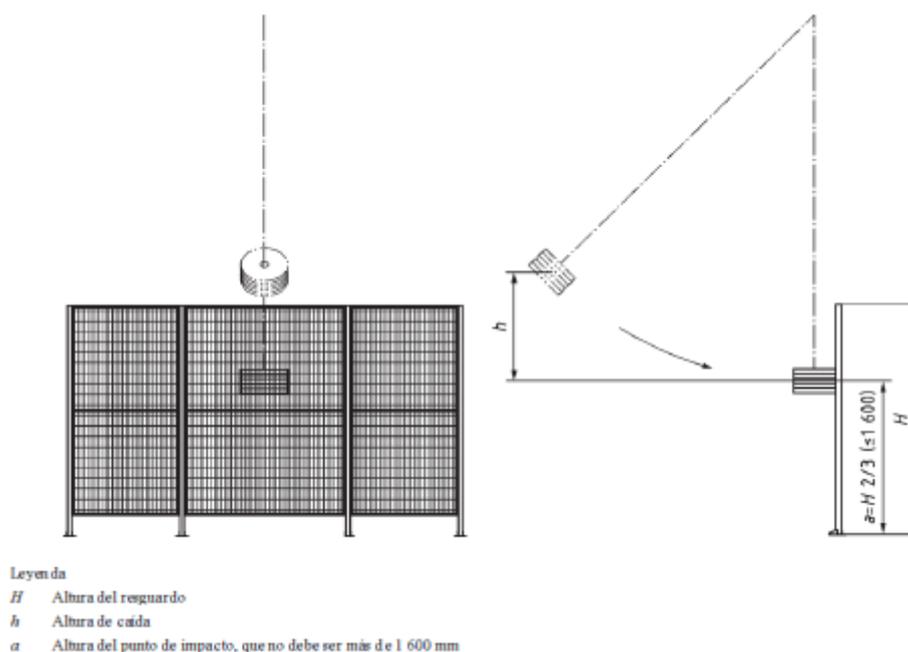


Instalación y vallas perimetrales.

Ensayo de la protección

Para asegurar que la protección fabricada cumple con las directrices de la normativa debemos pasar el ensayo del péndulo para ensayos mecánicos de resguardos. Este ensayo se detalla en la norma UNE-EN ISO 14120, Anexo C.

Veamos la imagen para entender el ensayo:



Ensayo del péndulo.

En consecuencia, como tenemos una protección de $H=1800$ mm de altura, debemos golpear con el péndulo a una altura $a=1200$ mm.

Si se realiza para ensayar golpes desde el exterior la energía mínima del ensayo son: 115 J. Teniendo en cuenta la fórmula de la energía del impacto:

$$E = m \cdot g \cdot h \text{ (Julios)}$$

Podemos seleccionar la h y la masa del péndulo.

Por otro lado si se realiza para ensayar golpes desde el interior de la célula la masa que impacta debe ser rígida, de forma esférica o cilíndrica, hecha de acero y cuya masa represente el previsible impacto que pueda darse en la instalación.

El ensayo se supone superado si:

- El panel de resguardo no se suelta de sus fijaciones.
- El resguardo no se suelta de soporte.
- Las deformaciones no superan los límites que generarían daños.

- No hay penetración.

Además de basarnos en la normativa antes mencionada, he comprobado la normativa referente a la integración robots, recogida en:

- **ISO 10218-1:2011**: Robots and robotic devices -- Safety requirements for industrial robots -Part 1: Robots
- **ISO 10218-2:2011**: Robots and robotic devices -- Safety requirements for industrial robots -- Part 2: Robot systems and integration.

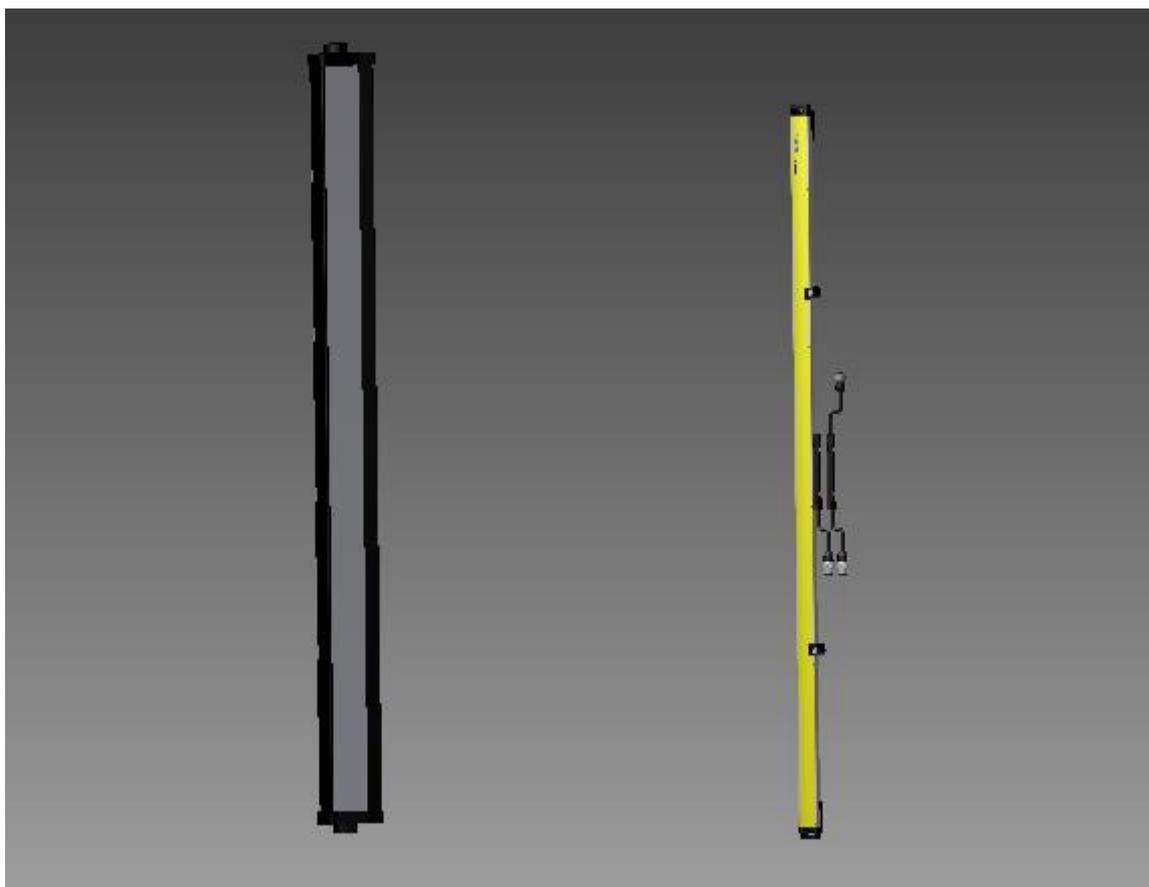
1.2.7 Seguridad: situación de máquina averiada.

En el apartado 1.3.2 hemos descrito una situación de Robot averiado. En este caso, los robots deben detener su funcionamiento y las máquinas trabajarán normalmente aunque la descarga se realice manualmente.

Para que esta operación se realice con seguridad, las máquinas duplican sus cortinas fotoeléctricas protegiendo su estación de carga y descarga.

En consecuencia deben instalarse en la nueva instalación:

- 2 cortinas SICK “miniTwin4” **C4MT-09014ABB03FE0**, para proteger al operario del movimiento del plato porta piezas.
- 2 cortinas SICK “miniTwin4” **C4MT-09014ABB03FE0** más un espejo de desvío **PNS75-094**, para proteger al operario de las operaciones de la máquina en el resto de estaciones mientras él trabaja en la estación de descarga.
- 2 relés de seguridad SICK.



Cortina fotoeléctrica y espejo de desvío.

Por otro lado, también describimos otro caso en el apartado 1.3.2: el de Máquina 1 averiada.

En este modo de trabajo, el robot 1 dejaba de trabajar, pero el robot 2 sí lo hacía. Entonces el operario pasaba a cargar las piezas directamente en la máquina 2. Esto implica que el operario está dentro de la zona vallada con el robot 2 funcionando.

Esta situación echa abajo todas las normas de seguridad que hemos destacado en el apartado anterior. ¿Cómo lo resolvemos?

Aislaremos al operario del robot 2 con **dos cortinas fotoeléctricas SICK de 1800 mm de alto**. Las situaremos a 100 mm del suelo para que cumpla con los mismos requisitos que el vallado anteriormente estudiado.

De esta manera, si accidentalmente el operario entra en el entorno del robot 2, cortará la barrera y este se parará.

La cortina a instalar será la “deTec” **C4P-SA1803S001**.

1.3 APARAMENTA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA.

1.3.1 El autómeta.

Para la programación y control en tiempo real del proceso he elegido un autómeta IndraControl L40 de Bosch Rexroth.



Autómata L40

Es una autómeta con plataforma hardware escalable y con una interfaz de comunicación estándar. Además nos ofrece la opción de extensión mediante módulos funcionales y también la extensión del número de entradas y salidas agregando módulos I/O.

El procesador o CPU es un AMD – Geode LX800, 500MHz de gran velocidad en sus procesos.

En cuanto a la memoria de aplicación, esta es de 64 MB y el tamaño de la memoria Flash es de 128 MB.

Es capaz de diagnosticar un fallo de alimentación de potencia, un fallo por desbordamiento del reloj de guarda y también controla su temperatura de operación, evitando su calentamiento excesivo, que podría dañarlo.

El bus de campo estándar para este autómeta es PROFIBUS Master/Slave.

La tensión de alimentación es de 24 V que la transforma a 7.5 V para trabajar en su lógica interna.

Su consumo de potencia es de 9 W.

1.3.2 Las comunicaciones entre máquina y robot.

Las comunicaciones entre controlador y robot se consiguen gracias al bus de campo del PLC que controla la instalación de los robots. A través de este bus trasladaremos la imagen de proceso de salida al robot para que ejecute trayectorias y tareas. Esta comunicación también puede darse a la inversa: es el robot quién envía una información al PLC, quién lo recibe a través de la imagen de proceso de entrada, y procesa las instrucciones.

Tal y como señalamos en el apartado anterior el bus de campo en un autómatas L40 es PROFIBUS Maestro/Esclavo.

PROFIBUS es uno de los buses de campo abiertos que cumple con todos los requerimientos en un rango muy amplio de aplicaciones. Es también la norma de comunicaciones favorita en el continente europeo y presume de tener el mayor número de instalaciones operando en el mundo. Además de ser abierto, no pertenece a ningún fabricante en particular, está certificado y es a todas luces un producto orientado a satisfacer las necesidades de automatización y control de procesos en los próximos años. Es abierto, porque permite que los dispositivos de los diversos fabricantes certificados en este bus se comuniquen entre ellos sin necesidad de utilizar interfaces.

En el protocolo PROFIBUS se establecen las características de comunicación de un sistema de bus de campo serie. Puede ser un sistema multimaestro que permite la operación conjunta de varios sistemas de automatización. Hay dos tipos de dispositivos que caracterizan a PROFIBUS: Dispositivo Maestro y Dispositivo Esclavo, también llamados dispositivos activos y pasivos. Los dispositivos maestros, pueden enviar y solicitar datos a otras estaciones. Los dispositivos esclavos sólo pueden enviar datos cuando un participante maestro se los ha solicitado.

Los dispositivos esclavos son periféricos, tales como dispositivos entrada/salida, islas de válvula, transductores de medida y en general equipos simples de campo.

Por el contrario los dispositivos maestros suelen ser equipos inteligentes, como por ejemplo autómatas programables.

El método maestro-esclavo permite que la estación maestra que posee los derechos para transmitir pueda comunicarse con sus estaciones esclavas. Cada estación maestra tiene el control para transmitir y solicitar datos a sus estaciones esclavas.

En conclusión las grandes ventajas de PROFIBUS radican en:

- Comunicación estándar
- Velocidades de comunicación muy alta (hasta 12Mb/s)
- Suministro de energía a través del propio bus
- Eficiente en costo
- Plug and Play

Comunicación entre PLCs

Hemos abordado el caso de comunicación entre el PLC de la instalación y la periferia. Sin embargo en esta instalación hay cuatro PLCs que deben transmitirse datos y/o permisos entre ellos.

Estos cuatro PLCs son: los autómatas de las tres máquinas conexionadoras y el autómata de la instalación del robot. La comunicación la haremos a través de un conmutador o switch.

El conmutador o switch es el dispositivo digital lógico de interconexión de equipos que opera en la capa de enlace de datos del modelo OSI (“Open System Interconnection” – modelo de interconexión de sistemas abiertos). Su función es interconectar dos o más host de manera similar a los puentes de red, pasando datos de un segmento a otro de acuerdo con la dirección MAC de destino de las tramas en la red y eliminando la conexión una vez finalizada ésta.¹

Los conmutadores se utilizan cuando se desea conectar múltiples tramos de una red, fusionándolos en una sola red. Al igual que los puentes, dado que funcionan como un filtro en la red y solo retransmiten la información hacia los tramos en los que hay el destinatario de la trama de red, mejoran el rendimiento y la seguridad de las redes de área local (LAN).

Los conmutadores poseen la capacidad de aprender y almacenar las direcciones MAC de red de los dispositivos alcanzables a través de cada uno de sus puertos. Por ejemplo, un equipo conectado directamente a un puerto de un conmutador provoca que el conmutador almacene su dirección MAC. Esto permite que la información dirigida a un dispositivo vaya desde el puerto origen al puerto de destino.

Para la instalación que aquí se desarrolla montaremos un **Switch Weidmuller** no gestionado Basic Line: **IE-SW-BL08T-7TX-1SC**

1.4 DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA CÉLULA CON ABB ROBOTSTUDIO

A lo largo del apartado anterior hemos analizado todas las particularidades y posibilidades de la instalación y, a su vez, hemos justificado las soluciones adoptadas.

Ahora toca darle forma al proyecto. Lo haremos utilizando una herramienta muy potente que nos brinda la empresa ABB, que es la que nos suministraría los robots en este proyecto.

Con ABB RobotStudio vamos a poder posicionar las máquinas según la distribución en planta más conveniente, generaremos los robots que necesitamos y los posicionaremos. Posteriormente dotaremos a estos robots de un “Sistema”, un controlador que nos permita programarlos y moverlos.

Daremos “inteligencia” al resto de estaciones para que puedan trabajar junto con los robots. Esto es el diseño de los Smart Components que nos ayudan a programar el resto de estaciones de la instalación.

Tanto los Smart Components como los Robots tendrán entradas y salidas que gestionar y las comunicaciones entre ellas las conectaremos a través de la “Lógica de estación”.

En este momento ya estaremos en disposición de generar objetos de trabajo, puntos de trabajo y una ruta o trayectoria del robot. Pero eso no basta, debemos sincronizar la trayectoria con RAPID, el entorno de programación, para depurar la trayectoria y sus condiciones a través de la programación de módulos.

RAPID nos permitirá mover el robot y comunicarnos con los Smart Components para que la instalación trabaje tal y como deseamos.

Con trayectorias programadas, podemos simular. La simulación es una herramienta muy potente de ABB Robotstudio ya que estamos viendo cómo se va a comportar nuestra instalación en la realidad. En consecuencia, podemos asegurarnos, de ante mano, que nuestro diseño es correcto y que va ser un éxito en la planta.

Además durante la simulación observaremos una gran cantidad de temas a corregir y a depurar para que el resultado sea perfecto.

1.4.1 Descripción general del software.

“La programación fuera de línea es la mejor manera de maximizar la rentabilidad de inversión de los sistemas de robots. El software de simulación y programación fuera de línea de ABB, RobotStudio, permite efectuar la programación del robot en un ordenador en la oficina sin interrumpir la producción.

RobotStudio proporciona las herramientas para incrementar la rentabilidad de su sistema robotizado mediante tareas como formación, programación y optimización, sin afectar la producción, lo que proporciona numerosas ventajas, como reducción de riesgos, arranque más rápido, transición más corta e incremento de la productividad.

RobotStudio se ha construido en el VirtualController de ABB, una copia exacta del software real que hace funcionar su robot en producción. Ello permite simulaciones muy realistas, con archivos de configuración y programas de robot reales e idénticos a los utilizados en su instalación.”

<http://new.abb.com/products/robotics/es/robotstudio>

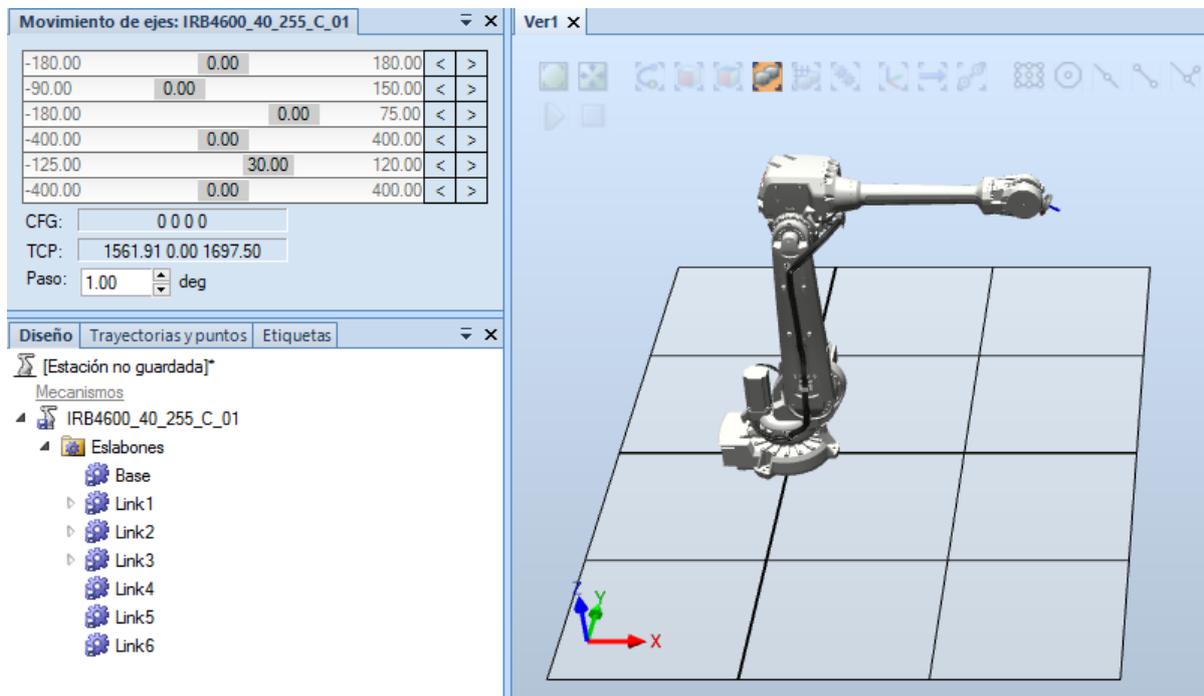
RobotStudio permite crear, programar y simular células y estaciones de robots industriales ABB. Es un simulador potente, con diversas características y capacidades: creación automática de cualquier tipo de estación, importación de geometrías y modelos 3D de cualquier formato (RobotStudio trabaja sobre CATIA). Programación y simulación cinemática de las estaciones. Además permite exportar los resultados obtenidos en simulación a la estación real.

1.4.2 Los mecanismos

Los mecanismos son componentes gráficos con un número de ejes controlando el movimiento de un número de eslabones o partes. El robot es el mecanismo por excelencia de RobotStudio, pero no es el único.

Empecemos hablando del Robot como mecanismo. Cuando insertamos el robot en la estación, pero no le hemos agregado ningún controlador, este es simplemente un

mecanismo, un conjunto de eslabones conectados a través de ejes que permiten el movimiento.



Mecanismo: robot.

El eslabón base, es la pieza inferior, a través de la cual amarraremos el robot al suelo o a una bancada.

Por otro lado, los ejes del mecanismo son:

- Eje 1: permite el giro de 360° de todo el cuerpo del robot. El eje de giro coincide con el Z de la estación.
- Eje 2: permite el giro del cuerpo central del robot desde el accionamiento inferior. Podemos girar desde -90° a 150° . En el momento de tomarse la imagen superior, la dirección de este eje coincide con el eje Y de la estación. En otro momento, esto no se cumplirá.
- Eje 3: permite el giro del brazo del robot desde el accionamiento superior. Podemos girar desde -180° a 75° . En el momento de tomarse la imagen superior, la dirección de este eje coincide con el eje Y de la estación. En otro momento, esto no se cumplirá.
- Eje 4: corresponde al giro del brazo respecto a un eje que lo atraviesa por su centro y que lo recorre a lo largo. Se permite el giro desde -400° a 400° .

- Eje 5: corresponde con la basculación de la muñeca del robot, hacia arriba y hacia abajo. Podemos girar desde -125° a 120° .
- Eje 6: corresponde con el giro de la muñeca del robot respecto a un eje que sale perpendicularmente de ella. Podemos girar desde -400° a 400° .

Sin embargo, como antes adelantábamos estos nos son los únicos mecanismos que podemos tener en RobotStudio. Otras posibilidades de mecanismo en nuestro proyecto son por ejemplo las mesas giratorias de las máquinas o las pinzas de la garras.

Las mesas podrían haberse generado como un mecanismo con un eje de giro coincidente con el Z de la estación y con centro en el eje central de la máquina. No se eligieron como mecanismos porque necesitábamos darle mayor inteligencia a las mismas, no sólo un movimiento. Por eso se eligieron como Smart Components.

Las pinzas podrían haberse dibujado como mecanismos para simular la apertura y cierre de las mismas. No se hizo así porque no demostraba tener mayor importancia para la simulación. También se generaron como Smart Components.

1.4.3 El controlador o sistema.

La pestaña Controlador contiene los controles utilizados para gestionar un controlador real y los controles necesarios para la sincronización, configuración y tareas asignadas al controlador virtual.

RobotStudio permite trabajar con un controlador fuera de línea, que constituye un controlador IRC5 virtual que se ejecuta localmente en nuestro PC. Este controlador fuera de línea también se conoce como el controlador virtual (VC). RobotStudio también nos permite trabajar con un controlador IRC5 físico real, que simplemente se conoce como el controlador real.

En nuestro caso, al comenzar el diseño, todavía no tenemos controlador, ni real o físico, ni virtual. Por eso tendremos que crear un controlador o sistema. Lo creamos y le asignamos uno de los robots. Para el segundo robot, obviamente crearemos un segundo sistema.

Como detalle en la creación del sistema está la posibilidad de añadirle el idioma Español para la programación desde FlexPendant y debemos asignarle el protocolo de comunicación; para este proyecto PROFIBUS.

En la pantalla Controlador podemos sacar un FlexPendant virtual que viene muy bien a la hora de seguir la simulación. Además, desde este FlexPendant podemos también crear o modificar puntos, o programar trayectorias.

1.4.4 La herramienta y su TCP.

El este proyecto hemos generado las herramientas en Autodesk Inventor y posteriormente hemos importado la geometría en RobotStudio.

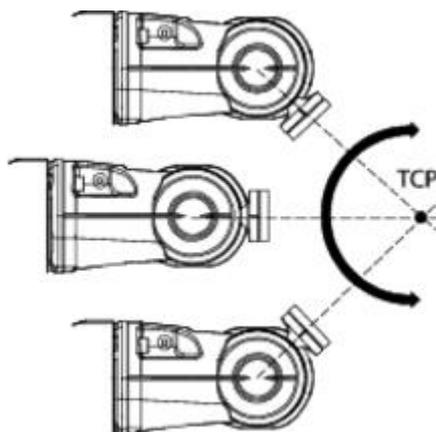
En consecuencia al crear la herramienta, la daremos un nombre (Garra_1 o Garra_2 en función del robot al que pertenece) y utilizaremos una geometría existente.

Muy importante es definir el peso de la herramienta y el centro de gravedad de la misma. También debemos añadir los momentos de inercia de la geometría y así, con RobotStudio, podremos abarcar un análisis cinemático y dinámico realista.

Para no cometer errores en esta fase es importante, primero que todo, modificar el origen local de la geometría al punto de conexión de la herramienta a la muñeca del robot, y situarla en el origen de coordenadas de la estación.

Una vez hemos terminado este paso, debemos asignar los TCPs de la herramienta. Una herramienta concreta puede tener uno o más TCPs. En nuestro proyecto, la Garra 1 tiene un único TCP. Sin embargo, la Garra 2 tiene dos TCPs, uno para cada pinza.

Y ahora bien, ¿Qué es un TCP? El sistema de coordenadas del punto central de la herramienta, denominado también TCP, es el punto situado en el centro de la herramienta. Todos los robots tienen un TCP predefinido en el punto de montaje de la herramienta en el robot, identificado como "tool0". Al ejecutar un programa, el robot mueve el TCP hasta la posición programada.



TCP de un Robot.

El “Tool Center Point” es el punto en relación al cual todas las posiciones del robot están definidas y configuradas.

Veremos más adelante, que cuando creamos puntos, lo hacemos eligiendo una herramienta y un TCP determinado, ya que como hemos dicho en los párrafos anteriores, el robot deberá moverse en relación al TCP de la herramienta.

1.4.5 Los componentes inteligentes.

Un componente inteligente es un objeto de RobotStudio (con o sin representación gráfica en 3D) que presenta el comportamiento que puede implementarse mediante la clase code-behind. El code-behind es una clase de .NET asociada a un componente inteligente y que puede implementar un componente personalizado reaccionando a determinados eventos, por ejemplo pasos de tiempo de simulación y cambios en los valores de las propiedades.

Una clase es como un plano. Define los datos y el comportamiento de un componente. Es clave en la programación orientada a objetos.

La característica fundamental de estos componentes inteligentes es que tienen capacidad de trabajar con señales E/S, que es simplemente un objeto que tiene un valor y una dirección, de forma similar a las señales E/S de un controlador de robot. El valor de esta señal es utilizada por el code-behind para controlar el comportamiento del componente inteligente. Además podremos conectar el valor de esta señal al valor de otra señal.

En el proyecto son componentes inteligentes las tres máquinas conexionadoras, las garras de los robots, la mesa de averías y la banda de salida.

Para conseguir un comportamiento complejo de nuestros componentes inteligentes hemos utilizado los siguientes componentes básicos de la librería RobotStudio:

Señales y propiedades: Puerta lógica

La señal de salida es asignada por la operación lógica, especificada en el operador, de las señales de entrada.

Hemos utilizado básicamente puertas: AND, OR y NOT. A algunas de ellas se les añadió un retraso (Delay).

Señales y propiedades: Bi estable SET/RESET

El bi estable tiene un único estado estable. Cuando el SET está a 1 la salida es 1; cuando el RESET es 1 la salida es 0. Siempre tiene preferencia el RESET.

Estos bi estables los hemos utilizado para asignar valor a las salidas digitales que tenemos que comunicarles al robot.

Señales y propiedades: Temporizador

El temporizador pulsa la salida basándose en el intervalo dado.

Lo hemos utilizado para generar las piezas en la primera máquina.

Sensores: Sensor lineal

El sensor lineal se define a partir de un punto de partida, uno de fin y un radio de detección. Cuando se activa, ofrece un 1 en su salida si detecta un objeto; ofrece un cero, si no hay nada que lo intercepte.

Para nosotros ha sido muy importante por su opción "Sensed Part", propiedad que hemos utilizado para mover las piezas entre las máquinas.

Su equivalente en la realidad es una fotocélula de presencia de pieza.

Para activarlos utilizamos una señal del controlador del Robot.

Acciones: Attacher

El Attacher va a unir la pieza "hija" al "padre" cuando la señal de ejecución se ponga a 1. Si el "padre" es un mecanismo o una herramienta, como ocurre en las garras,

debemos especificar la brida al que la vamos a unir la pieza (en nuestro caso, el TCP).

Nuestro “hijo” cambia en cada pieza que circula por la máquina. Por eso utilicé el Sensed Part de los sensores lineales para seleccionar la pieza a agarrar.

Además, en las garras, utilicé la señal de ejecutado del Attacher para hacer el SET de los presostatos que aseguraban que habíamos cerrado las pinzas.

Acciones: Detacher

Es el opuesto al anterior. Su función es quitarle la “hija” al “padre”. Cuando la señal de ejecución se pone a 1, la pieza se suelta.

En las garras utilicé la señal ejecutado del Detacher para asegurar la apertura de las pinzas.

Movimiento: Rotación

Este componente rota un objeto con una velocidad angular determinada. El eje de rotación se especifica con el punto centro y la dirección del eje.

He utilizado este componente para mover las mesas giratorias a sus posiciones de trabajo. Además, su señal de ejecutando la he aprovechado para hacer los RESET en los bi estables.

Otros: Cola

La cola representa un FIFO (first in, first out). Se utiliza para tratar un grupo de piezas como un conjunto. Lo que hago es meter las piezas en la cola para trabajar con ellas todas juntas y, por ejemplo, moverlas.

La utilicé en la banda de salida, para que todas se movieran hacia afuera de la instalación como un grupo, tal y como sucedería en la realidad.

Otros: Eventos de simulación

Envían un 1 cuando la simulación comienza o acaba, según se elija. Yo lo utilicé para hacer el RESET de la presencia de piezas en los puntos de carga y descarga de las máquinas.

Otros: Fuente aleatoria

O RandomSource, cuyo objetivo es simplemente generar un objeto en una posición determinada. En mi caso lo utilicé como generador de estatores. Generé los estatores cada 9 segundos en la estación de carga de la primera máquina.

1.4.6 La lógica de la estación.

La lógica de estación es fundamental para hacer funcionar a los componentes inteligentes antes mencionados.

Nosotros creamos los componentes inteligentes y la lógica de estación los trata como un bloque. Además, hemos dicho que estos componentes tienen señales de entrada y salida que, como es natural, deben comunicarse con algo.

Una entrada debe llegar al componente inteligente de algún lugar y una salida de un componente inteligente debe llegar a otro lugar. Por tanto en la lógica de estación asignaremos las conexiones entre componentes inteligentes y los controladores de los robots.

Los controladores de los robots hacen por primera vez aparición en forma de bloques que, si los desplegamos, tienen entradas y salidas para conectar a los componentes de la instalación con los que deben interrelacionarse.

Por tanto es aquí donde establecemos las comunicaciones Desde los componentes inteligentes saldrán hacia el robot las señales de:

- Presencia de pieza
- Permiso de entrada
- Señales de presostatos

Y desde los robots saldrán señales como:

- Permiso de giro
- Abrir o Cerrar pinzas
- Activación de sensores

También, en la lógica de estación, establecemos las conexiones entre los propios robots.

Como conclusión podemos decir que en la lógica de estación se establecen las comunicaciones de la instalación.

1.4.7 Los objetos, puntos y trayectorias de trabajo.

Un objeto de trabajo es un sistema de coordenadas utilizado para describir la posición de una pieza o punto de trabajo. El objeto de trabajo se compone de dos bases de coordenadas: la base de coordenadas del usuario y la del objeto. Todas las posiciones que programe serán relativas a la base de coordenadas del objeto, que a su vez es relativa a la base de coordenadas del usuario, a su vez relativo al sistema de coordenadas mundo.

En el proyecto tenemos 4 objetos de trabajo: el objeto cero, que viene con el sistema del robot y al que la única posición que le hemos asignado es la de Reposo del mismo. Y los objetos Máquina 1, Máquina 2 y Máquina 3.

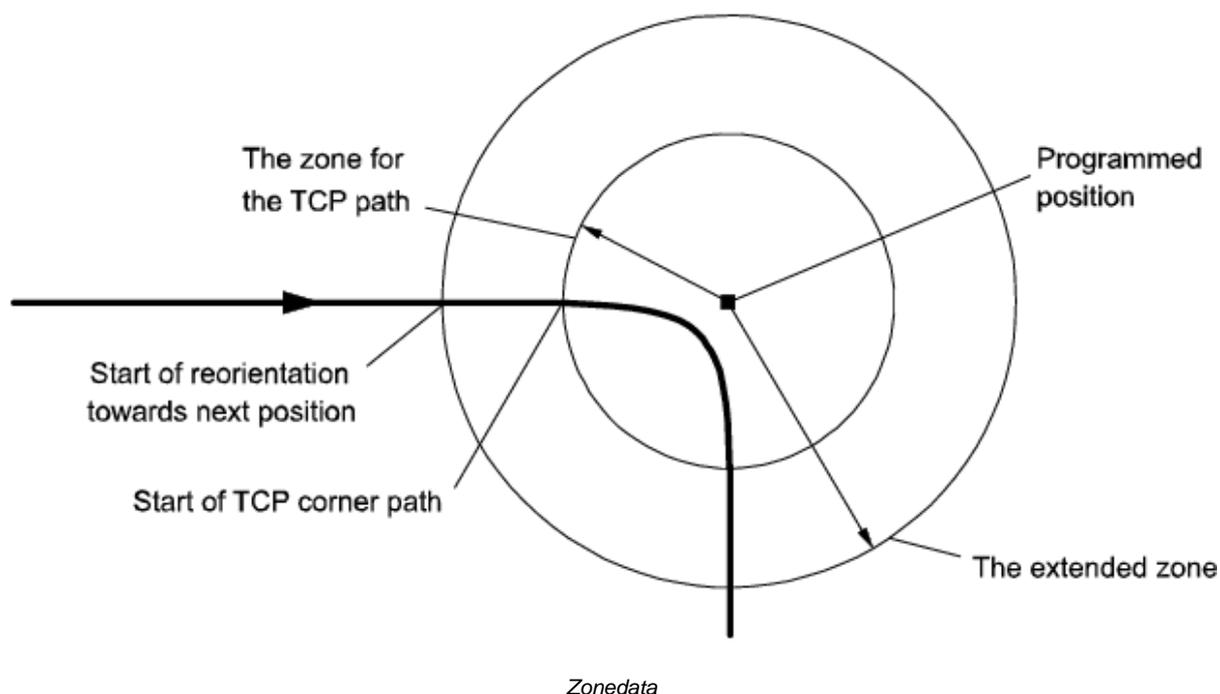
Por otro lado, el punto u objetivo es una coordenada que debe ser alcanzada por el robot. Contiene la información de posición y orientación respecto al objeto de trabajo. Cuando el robot alcanza el punto de trabajo, alinea la orientación del TCP con la orientación del objetivo. Los objetivos los veremos en RAPID como "robtargt", cuando los sincronizamos con el controlador virtual.

Los objetivos se programan seleccionando un objeto de trabajo y un TCP activo. Además debemos tener especial cuidado a las configuraciones de ejes. Esto es la coordinación de ejes que realiza al robot para orientar el TCP al punto de interés. También la veremos en la instancia "robtargt".

Por último la trayectoria de una secuencia de instrucciones de movimiento. Las trayectorias o rutas se utilizan para hacer que el robot se mueva a lo largo de una secuencia de puntos. Esta trayectoria se convierte en procedimientos al sincronizarlas con el controlador virtual.

Los movimientos utilizados en el proyecto son: Move L y Move J, que significa mover en línea recta y mover en línea curva respectivamente. Hemos utilizado uno u otro según nos ha convenido. Por otro lado también existe el Move C, que significa mover llevando una trayectoria circunferencial.

También dentro de la trayectoria, y una vez sincronizada, podemos especificar lo preciso que queremos ser al pasar por el punto. Esto es el "zonedata". Podemos especificar un z100 si el tamaño de la zona es grande, un z10 si nos acercamos un poco más y el "fine" si tenemos que pasar exactamente por la posición programada.



1.4.8 RAPID

RAPID es el entorno de programación de RobotStudio.

La sincronización antes mencionada guarda y carga archivos de texto que contienen módulos de RAPID y crea programas de RAPID a partir de nuestra estación.

El flujo de trabajo normal a la hora de programar los robots es:

- 1- Crear los objetivos y trayectorias que necesita el robot para realizar las tareas de trabajo.
- 2- Asegurarse que la orientación de los objetivos es correcta y eficiente.
- 3- Comprobar que tanto el robot como la herramienta pueden alcanzar todos los objetivos.
- 4- Generar el código RAPID a partir de los elementos RobotStudio. Esto es lo que hacemos con la sincronización.
- 5- Si es necesario podemos editar el código a través del Editor de RAPID.
- 6- Simular el programa y comprobar colisiones.

A la hora de programar con RAPID, la principal ventaja de RobotStudio se encuentra en el área de la programación de movimientos. Una instrucción de movimiento es una instrucción que hace que el robot se mueva hasta un objetivo concreto de una forma determinada.

Además de las instrucciones “Move”, también puede crear e insertar instrucciones de acción desde RobotStudio. Una instrucción de acción es una instrucción distinta de una instrucción “Move” y cuyo fin es, por ejemplo, establecer parámetros o activar o desactivar equipos y funciones. Enumeremos ahora las más utilizadas durante la programación de nuestra estación.

- **ConfL** (Configuration Linear): se utiliza para especificar si es necesario controlar la configuración del robot durante los movimientos lineales o circulares. Si no se controla, la configuración utilizada en el momento de la ejecución puede ser distinta de la configuración programada. Esto también puede dar lugar a movimientos de barrido inesperados en el robot cuando se cambia el modo al movimiento de ejes.
- **GOTO**: se utiliza para transferir la ejecución del programa a otra línea (una etiqueta) creada dentro de la misma rutina.
- **MoveJ**: se utiliza para mover el robot rápidamente de un punto a otro cuando no es imprescindible que el movimiento siga una línea recta.
- **MoveL**: se utiliza para trasladar el punto central de la herramienta (TCP) en sentido lineal hacia un punto de destino determinado.
- **Reset**: se utiliza para poner a cero el valor de una señal digital de salida.
- **Set**: se utiliza para cambiar a 1 una señal digital de salida.
- **SingArea**: se utiliza para definir cómo debe moverse el robot en las cercanías de los puntos singulares.

En nuestro caso hemos utilizado SingArea \Off; que significa: “no se permite que la orientación de la herramienta sea distinta de la orientación programada. Si se atraviesa un punto singular, uno o varios ejes pueden realizar un movimiento de barrido, lo que da lugar a una reducción de velocidad”.

- **WaitDI**: (Wait Digital Input) se usa para esperar hasta que se activa una entrada digital.
- **WaitRob**: espera hasta que el robot y los ejes externos han llegado al punto de paro o tienen una velocidad cero.

En el caso de utilizar WaitRob \InPos, el robot y los ejes externos deben haber llegado al punto de paro (ToPoint de la instrucción de movimiento actual) para que pueda continuar la ejecución.

- **WaitTime**: se usa para esperar una cantidad de tiempo determinado. Esta instrucción también puede usarse para esperar hasta que los ejes del robot y los ejes externos se hayan parado.

Por otro lado, en el código RAPID veremos también:

- **IF**: se utiliza cuando es necesario ejecutar instrucciones diferentes en función de si se cumple una condición.

Como hemos comentado, nos valdremos de estas sencillas instrucciones para generar nuestro programa. Sin embargo, habremos observado que las instrucciones Set, Reset y WaitDI hablan de tratamiento de señales de entrada y salida.

Por tanto, antes de nada, debemos crear las entradas y salidas, en el caso de nuestro proyecto, todas digitales. Para ello, a partir de la Red PROFIBUS, crearemos un módulo que le llamaremos "Módulo E/S". Y dentro de este módulo crearemos todas las señales necesarias.

Estas señales las utilizaremos en el código RAPID y además las conectaremos a los Componentes Inteligentes de la estación a través de la Lógica de estación.

1.4.9 Simulación

Llega el momento de la verdad, el de simular la programación RAPID y el comportamiento de la estación con sus robots y elementos inteligentes.

Esta potente herramienta de RobotStudio la utilizaremos para:

- Reproducción de las simulaciones: que ejecutan programas de robot completos en un controlador virtual.
- Detección de colisiones: que muestra y registra las colisiones y las casi colisiones para los objetos especificados de la estación. Se utiliza normalmente durante la simulación de programas de robot. También puede usarse durante la construcción de la estación.
- Simulación de E/S: en las simulaciones, las señales de E/S son establecidas normalmente por el programa de robot o por eventos. Con el Simulador de

E/S, puede establecer las señales manualmente, lo que proporciona una comprobación rápida de condiciones específicas.

Pero además, es muy potente porque vamos comprobando las comunicaciones entre controladores, o entre controladores y componentes de la estación, lo que nos permite comprobar que la programación establecida funciona correctamente.

En el proyecto hemos elegido un tiempo de ejecución libre, Dado que todos los controladores utilizan los mismos recursos de ordenador, es posible que la sincronización no sea exactamente la del tiempo real si se ejecuta de forma independiente el uno del otro (lo que se conoce como ejecución libre). El tiempo de ciclo será correcto, pero la temporización del establecimiento de las señales y el disparo de eventos puede ser inexacto.

RobotStudio también nos da la posibilidad de grabar las simulaciones. Estos videos son los que veremos durante la presentación y salen directamente del simulador hacia el ordenador.

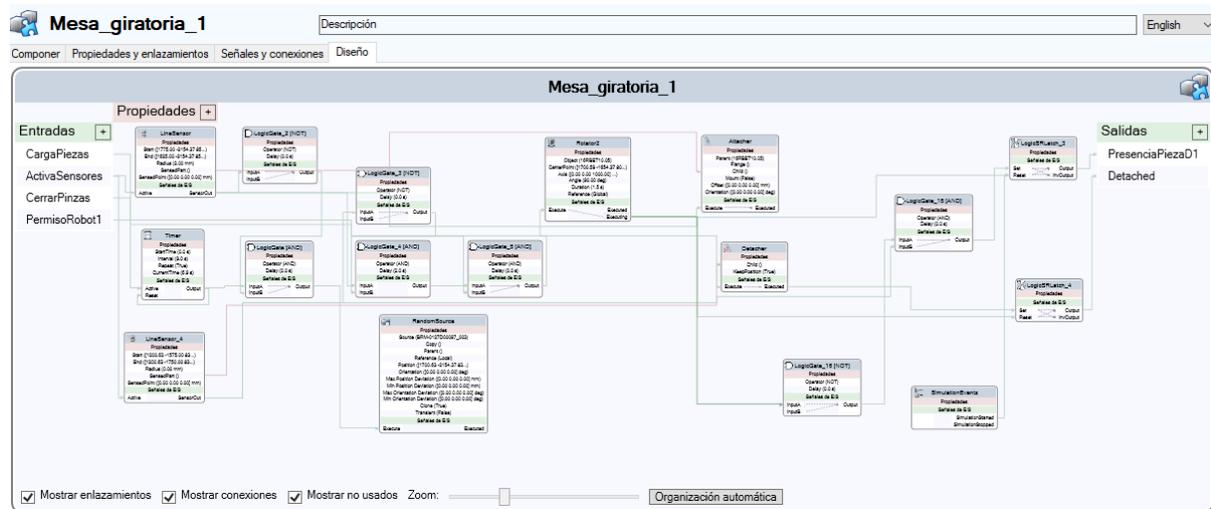
2. ANEXOS

2 ANEXOS

2.1 ROBOTSTUDIO: COMPONENTES INTELIGENTES.

Los anexos pueden encontrarse en la carpeta con ese nombre. Sin embargo en estos apartados intentaré explicar brevemente cómo seguir la programación de objetos de los Componentes Inteligentes.

2.1 Máquina 1



El robot 1 ejecuta las entradas “Cargar Piezas” y “Activa Sensores” que activaran el temporizador y los sensores respectivamente. El temporizador envía un pulso cada 9 segundos, y (AND) si no (NOT) hay pieza en la estación de carga ejecuta el generador de estatores (RandomSource) que carga un estator en la estación.

Una vez el sensor detecta la pieza, se ejecuta el “Attacher” que une la pieza a la máquina.

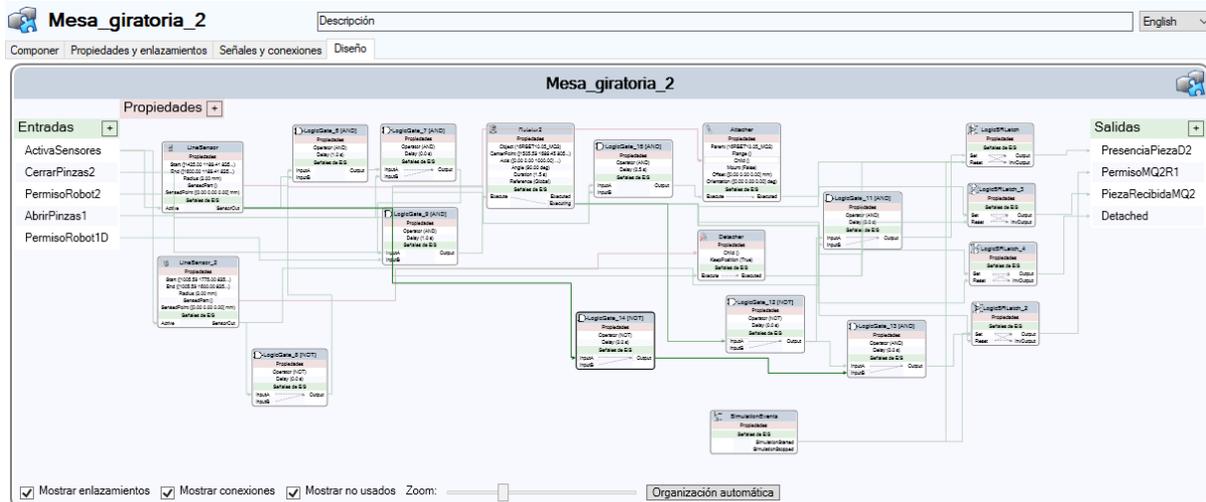
Además si hay pieza en la estación de carga, (AND) tenemos “Permiso de robot” y (AND) no (NOT) hay pieza en la estación de descarga, entonces se ejecuta el movimiento de rotación de 90° de la mesa giratoria.

La máquina deshace la unión del estator a la máquina a través del comando “Detacher” que se ejecuta cuando se cierran las pinzas de la Garra 1.

Por último la dos señales de salida se ejecutan cuando hay pieza en la estación de carga: “PresenciaPiezaD1” y cuando la máquina suelta la pieza: “Detached”. Esta

última no es una señal que comuniquemos a ningún otro elemento. Simplemente la utilizamos para seguir el programa a través del Simulador de E/S.

2.1.2 Máquina 2



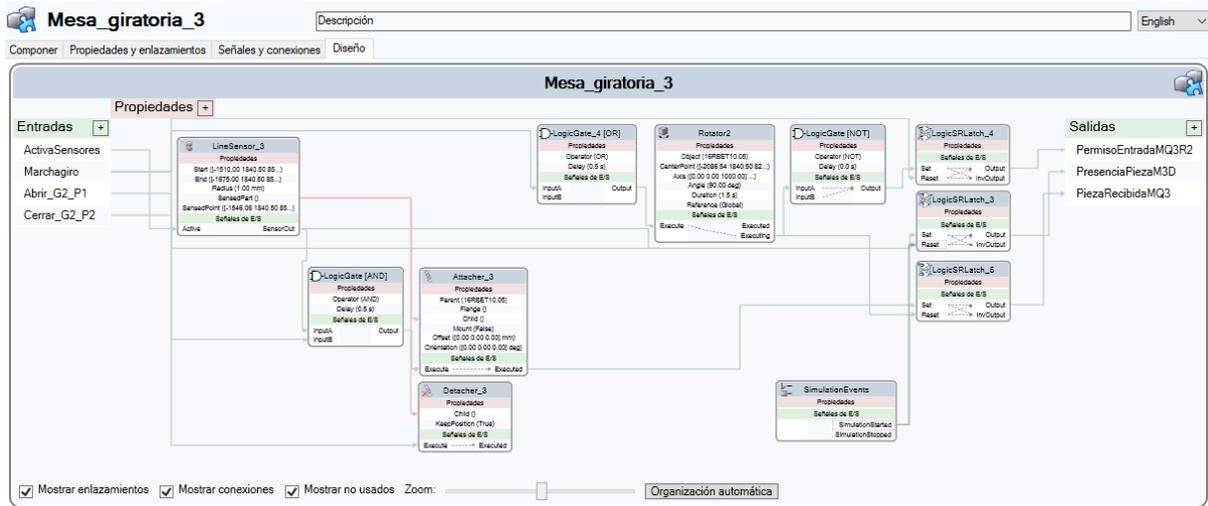
El robot ejecuta la entrada de “Activa Sensores” y se encienden las fotocélulas de presencia de pieza de la estación de carga y descarga.

Cuando la estación de carga detecta la pieza y (AND) la Garra 1 abre sus pinzas, entonces se ejecuta el “Attacher” y se une el estator a la máquina 2.

Por otro lado, cuando tenemos “Permiso de Robot1”, (AND) “Permiso de Robot2”, (AND) detectamos la pieza en la estación de carga, y (AND) no (NOT) hay pieza en la estación de descarga, entonces giramos 90° la mesa.

En cuanto a las salidas, cuando no hay pieza en la estación de carga y (AND) no (NOT) está girando el plato, entonces damos “Permiso de entrada” al robot 1. Cuando detectamos pieza en la estación de descarga y (AND) no (NOT) está girando el plato entonces enviamos la señal “Presencia Pieza” al robot 2. Por último vamos a monitorizar la carga y descarga de la pieza con las salidas “Pieza entregada” y “Detached”.

2.1.3 Máquina 3



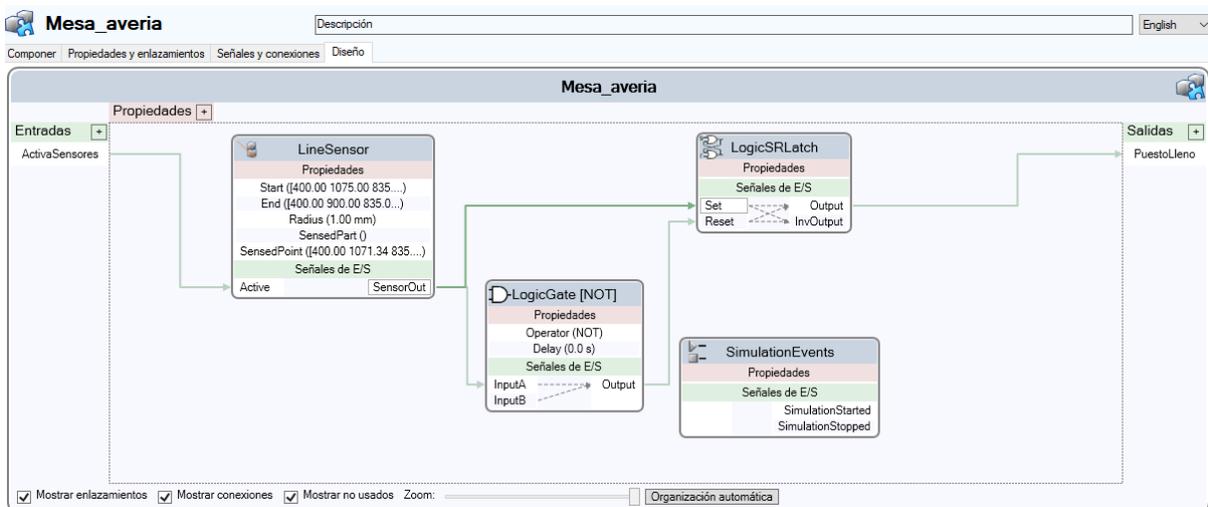
El robot ejecuta la entrada “Activa Sensores” para que se encienda la fotocélula de presencia de piezas de la estación de carga y descarga.

Siempre que detectemos pieza y (AND) abramos la pinza 1 de la Garra 2 entonces se une la pieza a la máquina (Attacher). En cambio, siempre que se cierra la pinza 2 de la Garra 2, la pieza se desconecta de la máquina.

Cuando el robot le da “Permiso de giro” a la máquina, entonces su plato giratorio se mueve 90°.

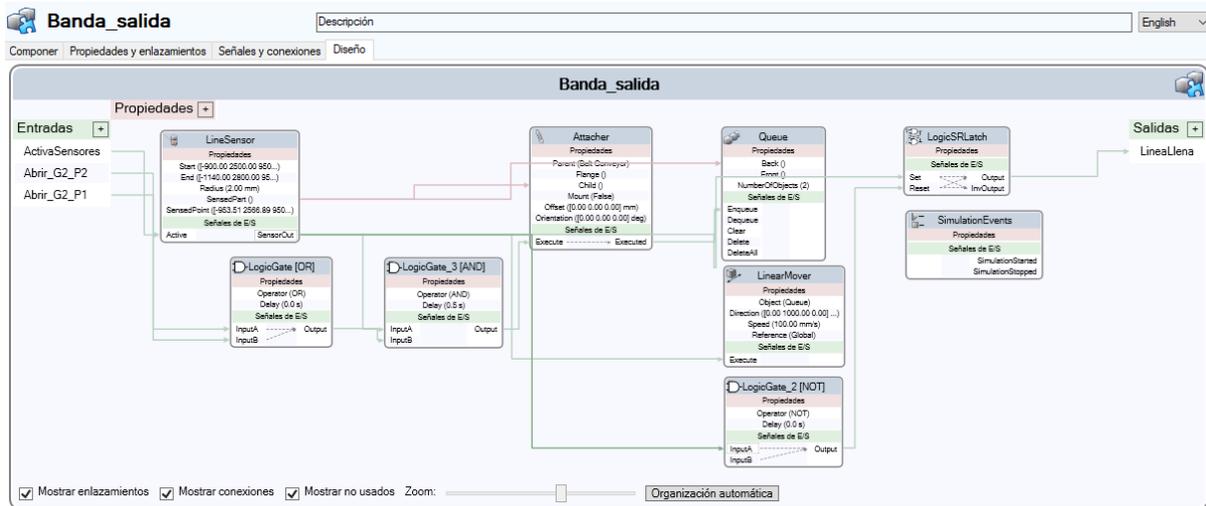
En cuanto a las salidas, siempre que no esté girando el plato la máquina le da “Permiso de entrada” al robot 2. Además, siempre que haya pieza en la estación de carga, enviará la señal “Presencia de pieza” también al robot 2. Por último monitorizaremos la entrega de la pieza con “Pieza recibida”.

2.1.4 Mesa de avería



Este componente inteligente es muy sencillo. Simplemente manda una señal cuando el puesto está lleno, para evitar que el Robot 1 se estrelle con la pieza que ya está posada en la estación.

2.1.5 Banda de salida



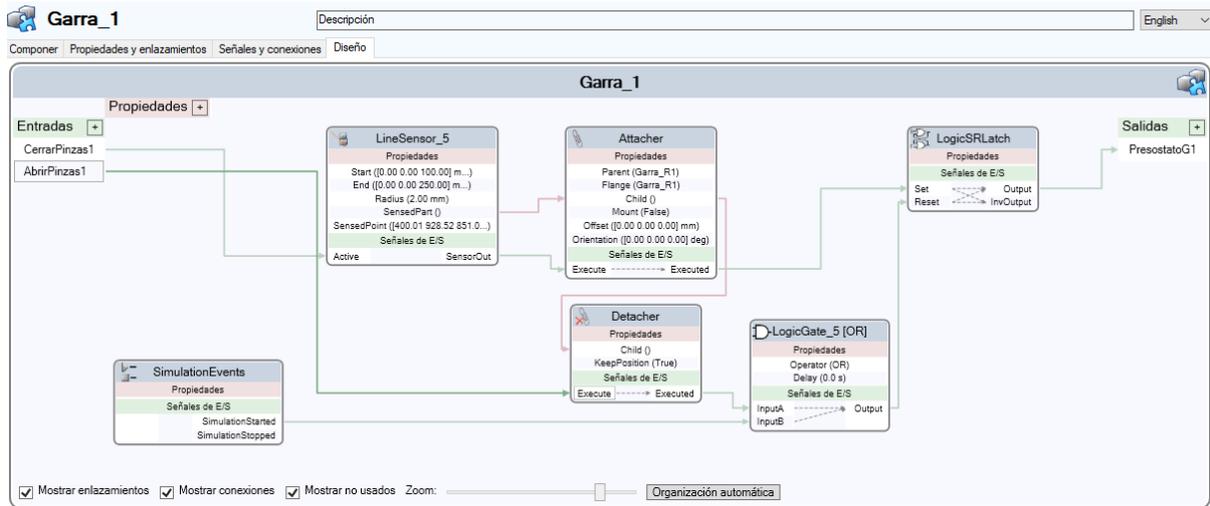
El robot ejecuta la entrada “Activa Sensores” para que se encienda la fotocélula de presencia de piezas que se encuentra al inicio de la banda.

Cuando se detecte pieza en la banda y, (AND) abramos la pinza 1 de la Garra 2 o (OR) la pinza 2 de la Garra 2 entonces la pieza se une a la banda de salida.

Además todas las piezas que unamos a la banda las vamos a meter en un conjunto: la cola (Queue), que moveremos (LinearMover) siempre que la fotocélula vea un estator.

Como salida tenemos “Línea Llena”, una señal que es enviada al robot 2 para que no descargue y evitar que se estrelle. Esta salida se pone a 1 siempre que la fotocélula detecte un estator.

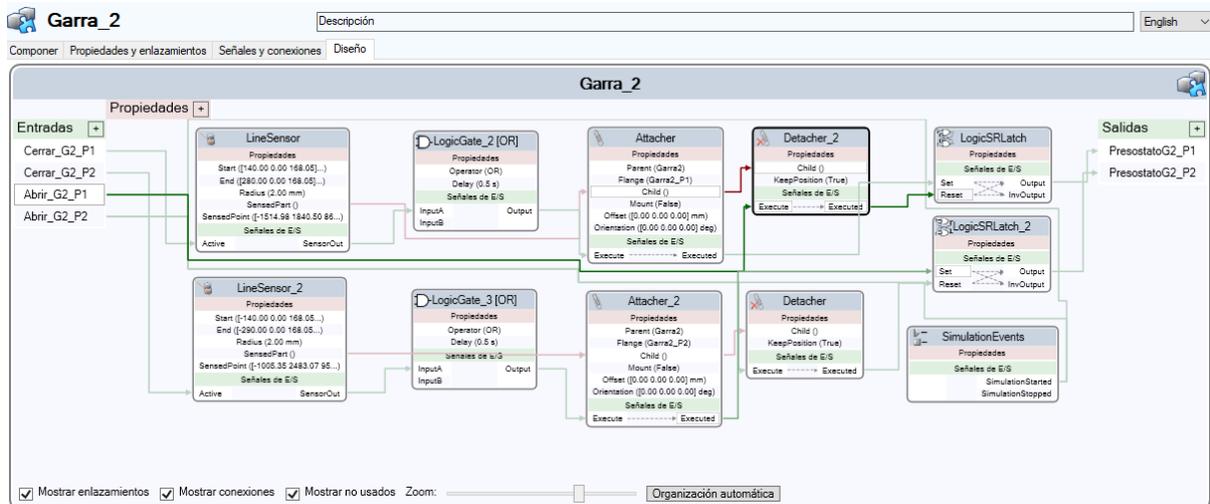
2.1.6 Garra de Robot 1



Las señales “Cerrar Pinzas” y “Abrir Pinzas” que vienen desde el Robot 1 permiten que las pinzas agarren (Attacher) o suelten (Detacher) el estator respectivamente.

Como salida tenemos la de “Presostato” que se envía al robot para asegurar que la pieza está agarrada.

2.1.7 Garra de Robot 2



Esta es exactamente igual a la Garra 1, sólo que al tener dos Pinzas duplicamos los objetos.

2.2 ROBOTSTUDIO: RAPID

2.2.1 Entradas y salidas.

Enumeramos aquí las entradas y salidas de los Sistemas de Robot. Todas ellas hacen referencia a las señales creadas en el Módulo E/S de la Red PROFIBUS.

Sistema 1 – Robot 1

Nombre	Tipo	Descripción
PresenciaPiezaD1	Digital Input	Hay pieza en la estación de descarga de la máquina 1. El robot tiene permiso de entrada.
PresostatoG1	Digital Input	Las pinzas de la Garra 1 se han cerrado consiguiendo la presión establecida.
PermisMQ2R1	Digital Input	La máquina 2 le da permiso de entrada al robot 1
PiezaRecibidaMQ2	Digital Input	La máquina 2 confirma que estator ha sido cargado en su estación.
Cicloinspeccion	Digital Input	Esta señal se envía al robot si deseamos que haga una trayectoria diferente a la normal. No se ha utilizado en este proyecto.
PermisIntercambio2	Digital Input	Da permiso de entrada al robot 1 cuando están utilizando la mesa de averías. Evita la colisión entre ambos robots.
MQ2_Averia	Digital Input	Se utiliza para cambiar la rutina del robot
MQ1_Averia	Digital Input	Se utiliza para cambiar la rutina del robot
PuestoLleno	Digital Input	Le indica al robot 1 que la mesa de averías está llena y no puede descargar la pieza
ActivaSensores	Digital Output	Activa las fotocélulas de la estación
CargaPiezas	Digital Output	Ejecuta el temporizador para cargar 1 pieza cada 9 segundos.
CerraPinzas1	Digital Output	Cierra las pinzas de la Garra 1
AbrirPinzas1	Digital Output	Abre las pinzas de la Garra 1
PermisoRobot1	Digital Output	Da permiso de giro a la máquina 1
PermisoRobot1D	Digital Output	Da permiso de giro a la máquina 2
PermisIntercambio1	Digital Output	Da permiso de entrada al robot 2 cuando están utilizando la mesa de averías. Evita la colisión entre ambos robots.

Sistema 2 – Robot 2

Nombre	Tipo	Descripción
PresenciaPiezaD2	Digital Input	Hay pieza en la estación de descarga de la máquina 2. El robot tiene permiso de entrada.
PermisoEntradaMQ3R2	Digital Input	La máquina 3 le da permiso de entrada al robot 2
PresostatoG2_P1	Digital Input	Las pinzas 1 de la Garra 2 se han cerrado consiguiendo la presión establecida.
PresostatoG2_P2	Digital Input	Las pinzas 2 de la Garra 2 se han cerrado consiguiendo la presión establecida.
PresenciaPiezaM3D	Digital Input	Hay pieza en la estación de carga/descarga de la máquina 3.
PiezaRecibidaMQ3	Digital Input	La máquina 3 confirma que estator ha sido cargado en su estación.
LineaLlena	Digital Input	Le indica al robot 2 que la banda de salida está llena y no puede descargar la pieza
Cicloinspeccion	Digital Input	Esta señal se envía al robot si deseamos que haga una trayectoria diferente a la normal. No se ha utilizado en este proyecto.
PermisoIntercambio1	Digital Input	Da permiso de entrada al robot 2 cuando están utilizando la mesa de averías. Evita la colisión entre ambos robots.
MQ2_Averia	Digital Input	Se utiliza para cambiar la rutina del robot
MQ3_Averia	Digital Input	Se utiliza para cambiar la rutina del robot
ActivaSensores	Digital Output	Activa las fotocélulas de la estación
Marchagiro	Digital Output	Da permiso de giro a la máquina 3
Cerrar_G2_P1	Digital Output	Cierra las pinzas 1 de la Garra 2
Abrir_G2_P1	Digital Output	Abre las pinzas 1 de la Garra 1
Cerrar_G2_P2	Digital Output	Cierra las pinzas 2 de la Garra 2
Abrir_G2_P2	Digital Output	Abre las pinzas 2 de la Garra 1
PermisoRobot2	Digital Output	Da permiso de giro a la máquina 2
PermisoIntercambio2	Digital Output	Da permiso de entrada al robot 1 cuando están utilizando la mesa de averías. Evita la colisión entre ambos robots.

2.2.2 Lógica de estación.

Revisaremos la imagen que se presenta digitalmente y podremos observar cómo se interconectan o comunican las señales E/S entre los controladores y los componentes inteligentes.

2.2.3 Programas de Robot 1 y Robot 2.

Revisen el archivo .txt de la carpeta Anexos.

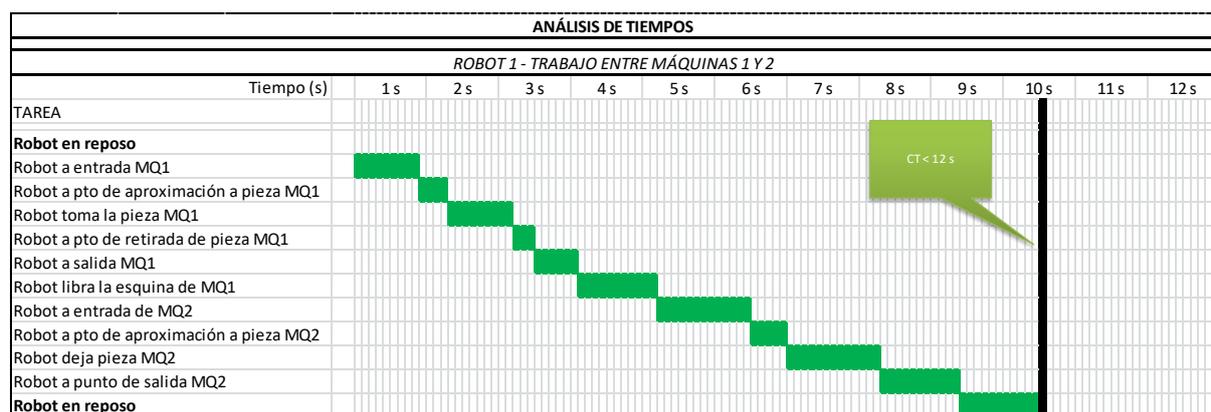
2.3 ANÁLISIS DE TIEMPOS DE CICLO

Quizás el análisis más importante para asegurar que la instalación tendrá aplicación industrial. La instalación debe ser capaz de trabajar a un tiempo de ciclo menor de 12 segundos para que el rendimiento de la planta sea el deseado.

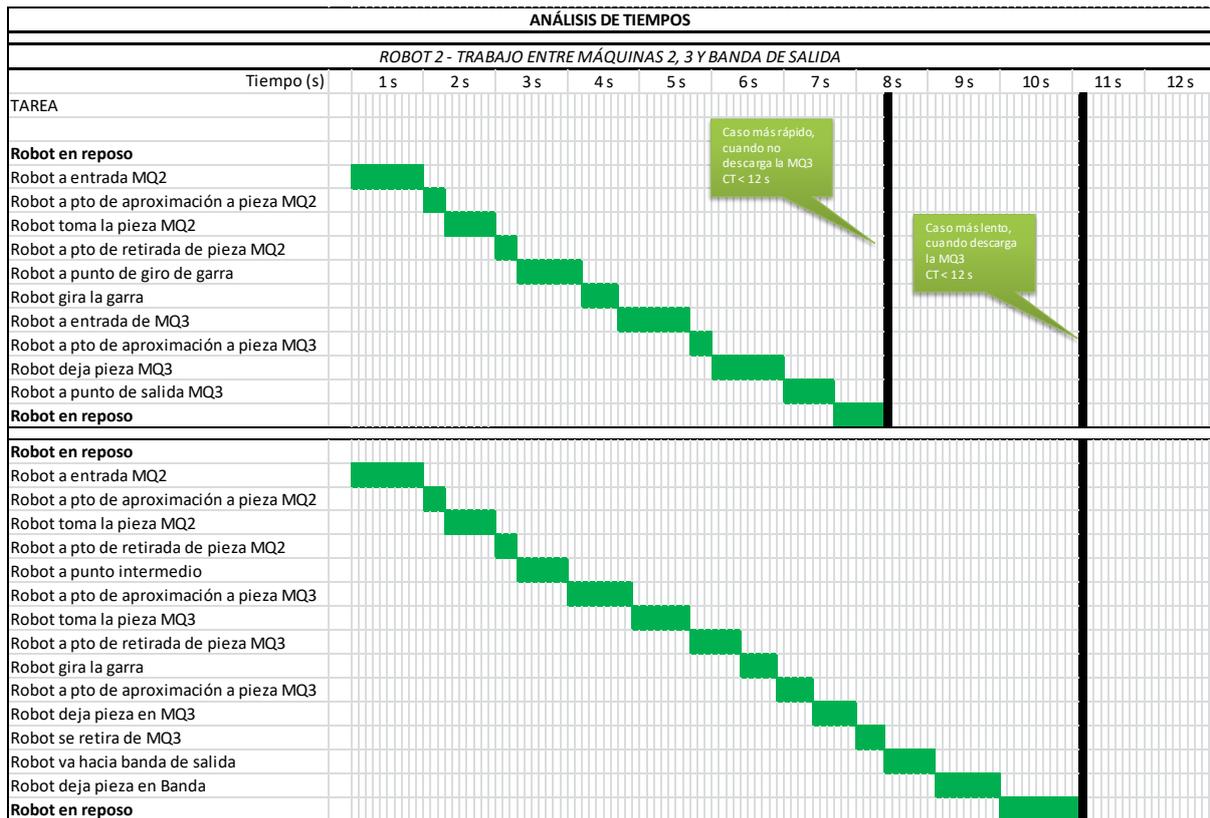
Como las máquinas ya existen y cumplen este tiempo de ciclo, debemos asegurar que los robots que vamos a instalar van a poder realizar sus operaciones en menos de 12 segundos.

Para ello tomamos las simulaciones que hemos hecho con RobotStudio y medimos los tiempos de cada una de las trayectorias y acciones que ejecutan ambos robots.

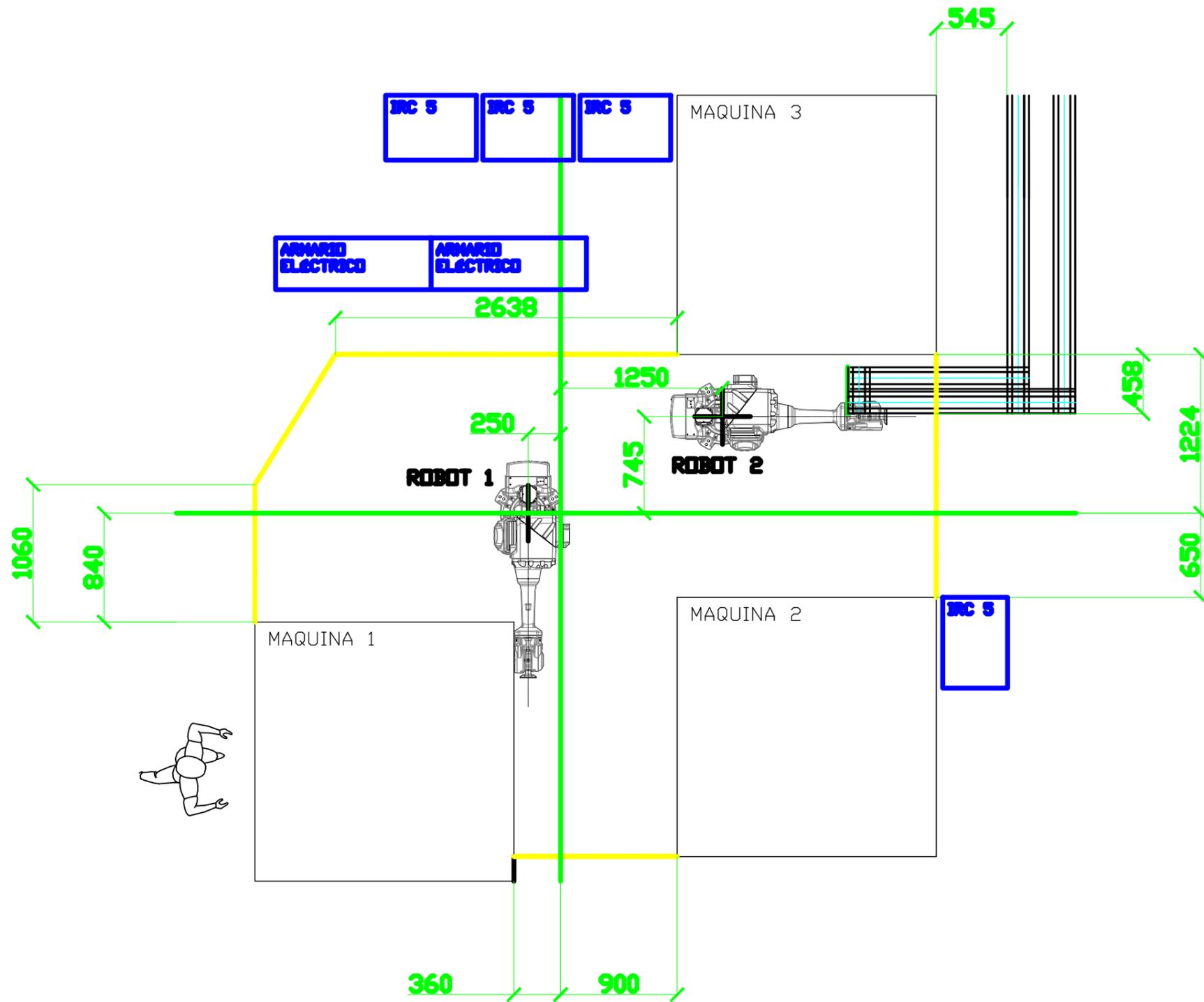
Robot 1



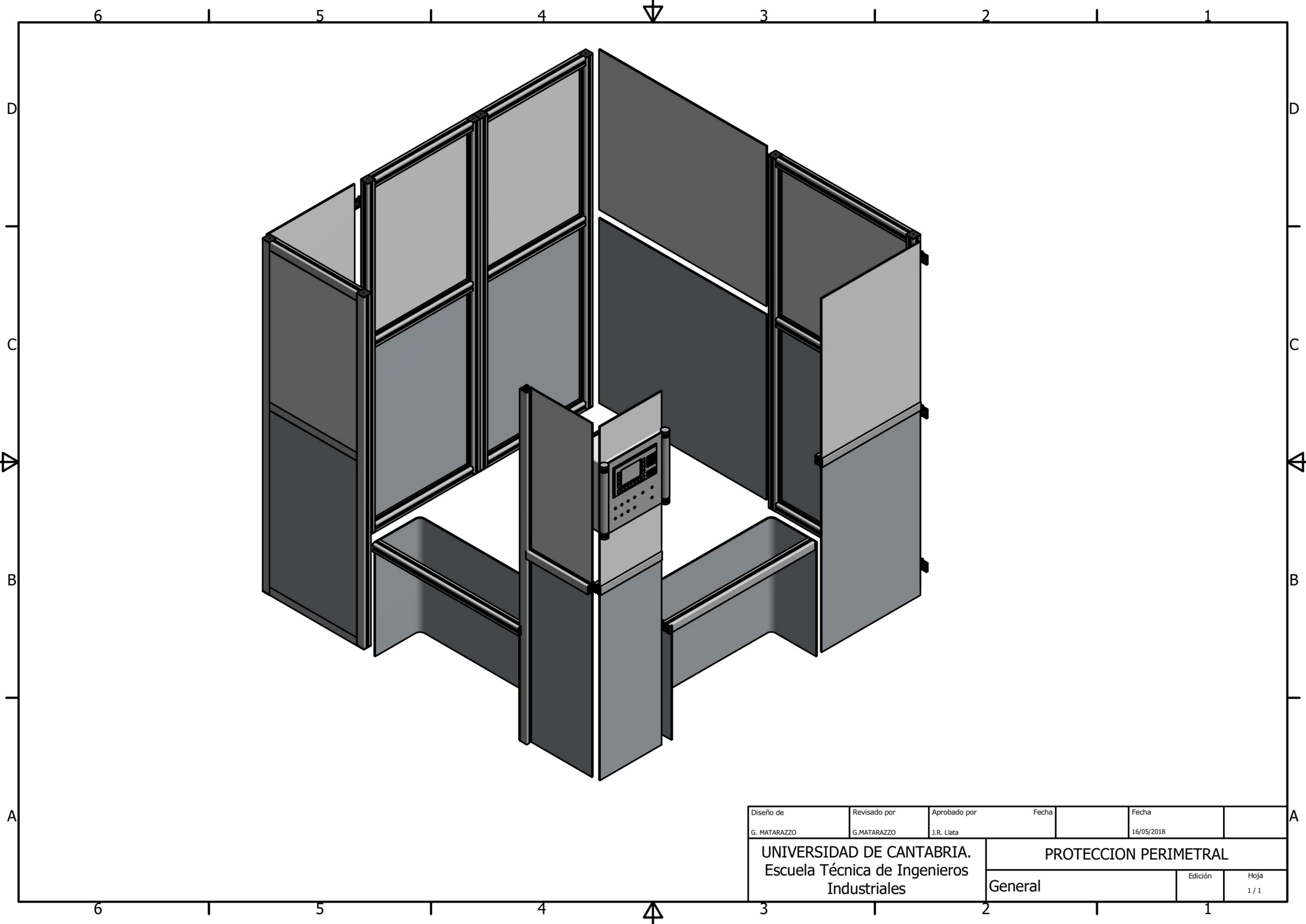
Robot 2



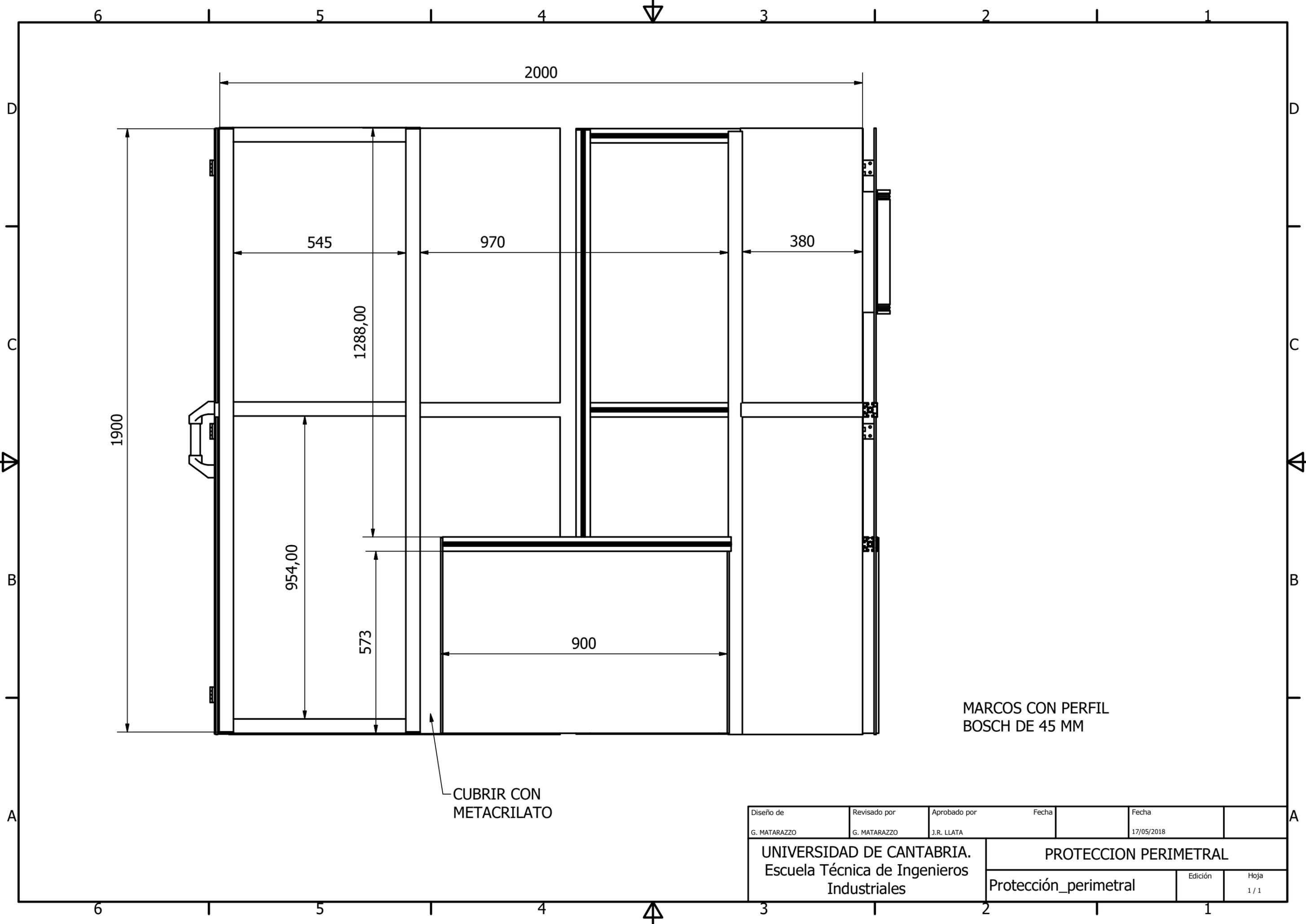
3. PLANOS



	Fecha	Nombre	Firma:	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN		
Dibujado	16/05/16	G. Matarazzo				
Comprobado	30/05/16	G. Matarazzo				
id. s. normas						
Escala:	1/1 DISTRIBUCIÓN EN PLANTA CÉLULA ROBOTIZADA			Lamina n. 1		
				N. Alumno: Gustavo Matarazzo		
				Curso: Master.		



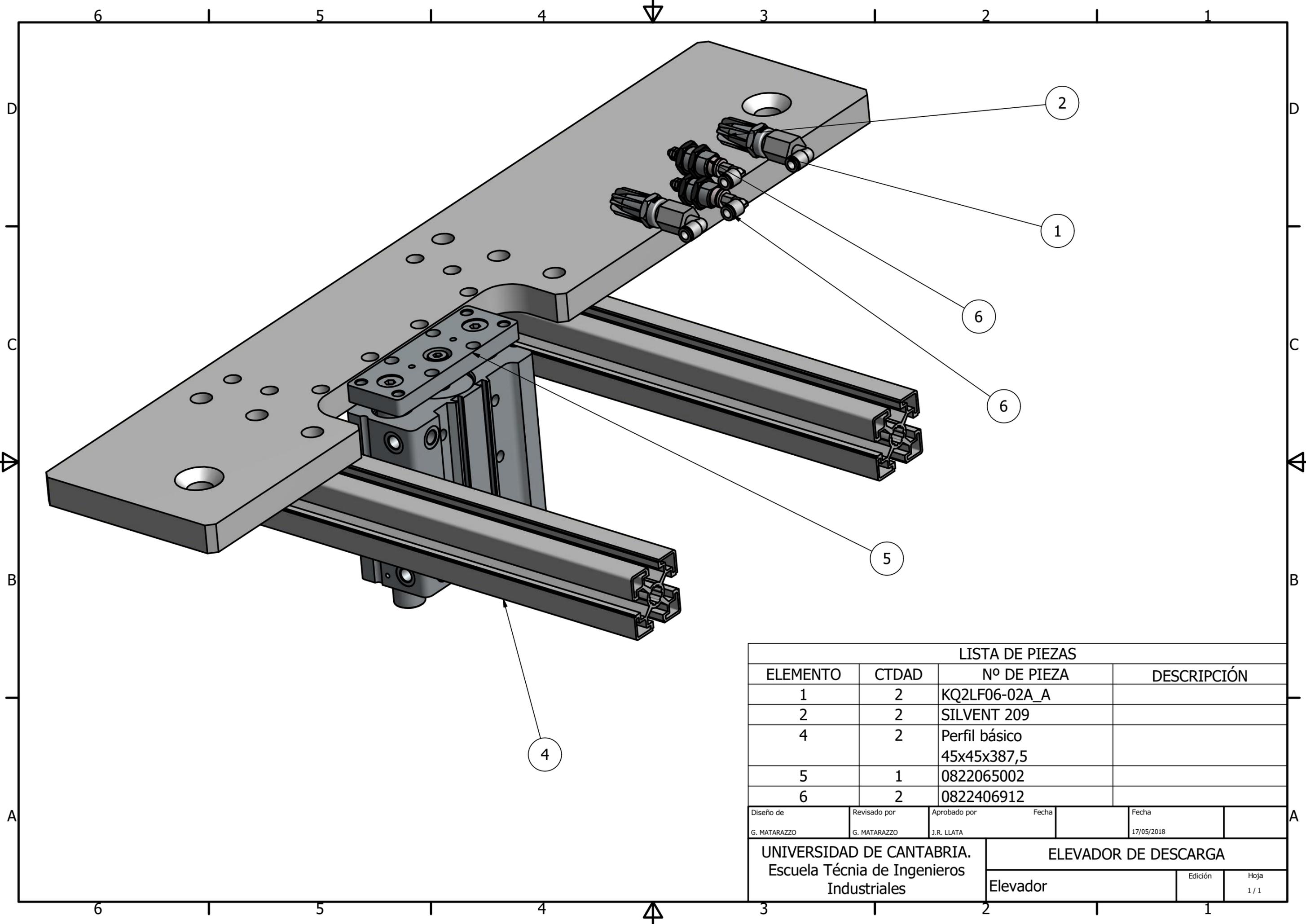
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
G. MATARAZZO	G.MATARAZZO	J.R. Llata		16/05/2018	
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales			PROTECCION PERIMETRAL		
			General	Edición	Hoja
					1 / 1



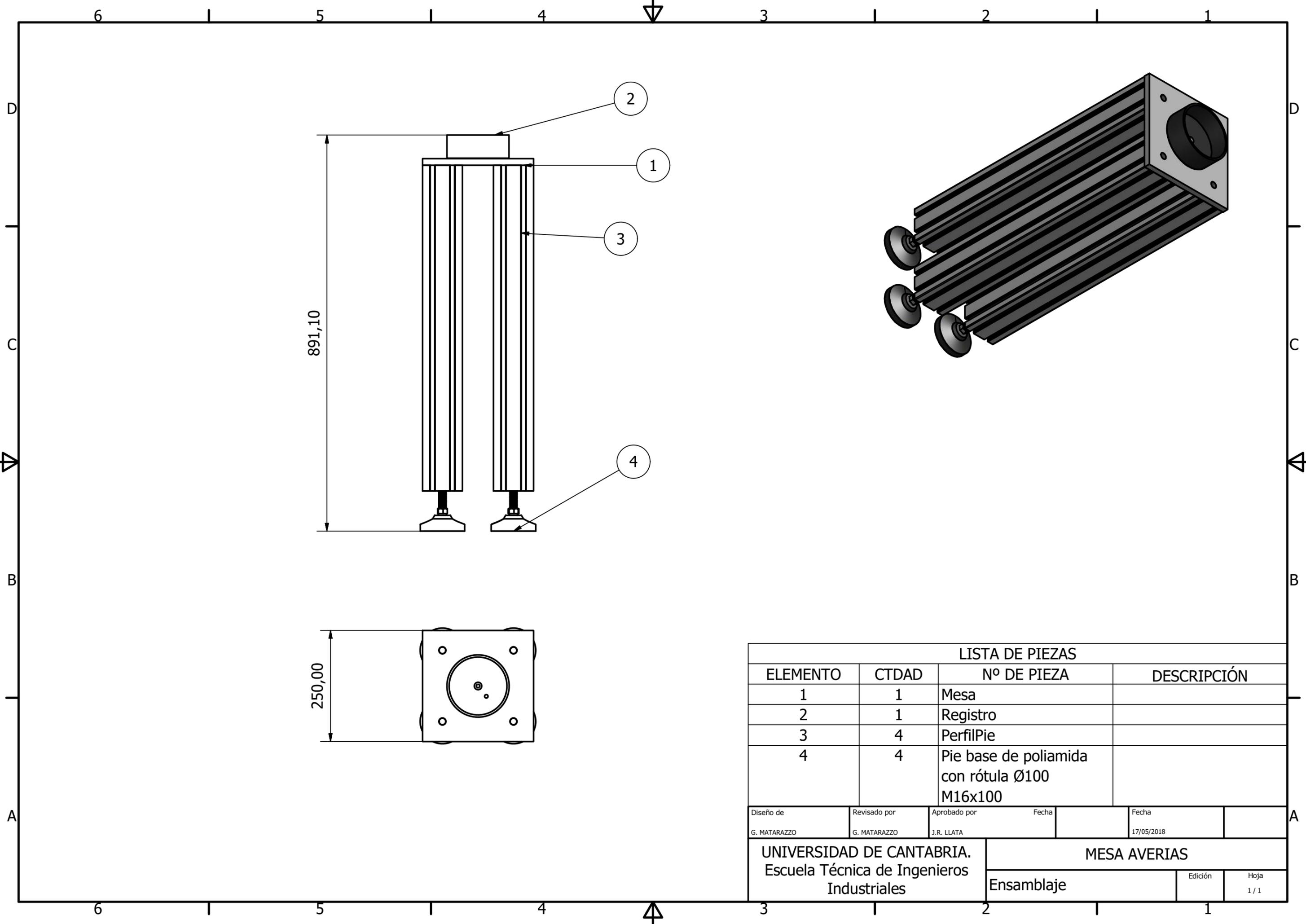
MARCOS CON PERFIL
BOSCH DE 45 MM

CUBRIR CON
METACRILATO

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
G. MATARAZZO	G. MATARAZZO	J.R. LLATA		17/05/2018	
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales			PROTECCION PERIMETRAL		
			Edición	Hoja	
			Protección_perimetral	1 / 1	



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	2	KQ2LF06-02A_A	
2	2	SILVENT 209	
4	2	Perfil básico 45x45x387,5	
5	1	0822065002	
6	2	0822406912	
Diseño de		Revisado por	Aprobado por
G. MATARAZZO		G. MATARAZZO	J.R. LLATA
		Fecha	Fecha
			17/05/2018
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales		ELEVADOR DE DESCARGA	
		Elevador	Edición
			Hoja
			1 / 1



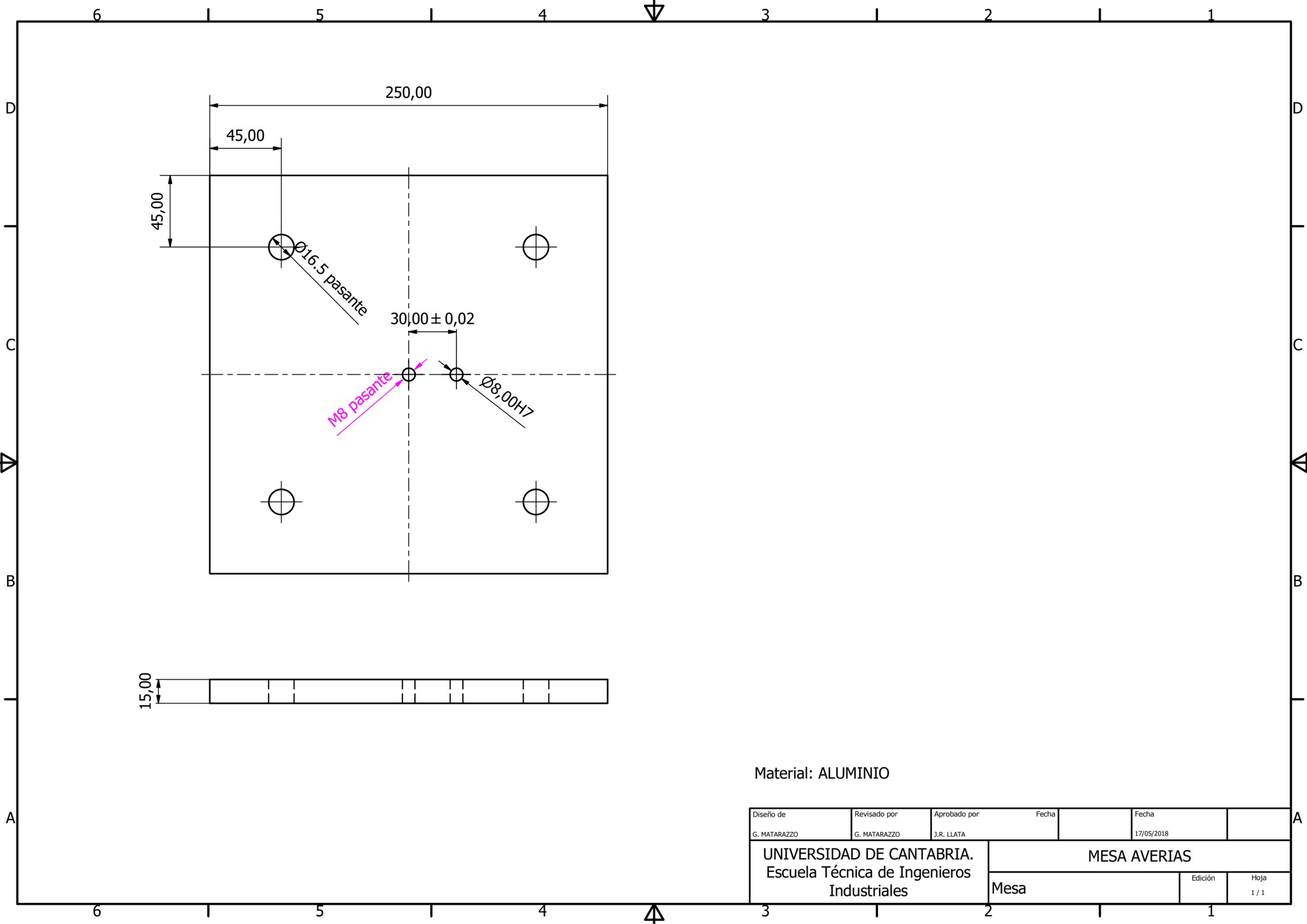
891,10

250,00

LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Mesa	
2	1	Registro	
3	4	PerfilPie	
4	4	Pie base de poliamida con rótula Ø100 M16x100	

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha
G. MATARAZZO	G. MATARAZZO	J.R. LLATA		17/05/2018

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales	MESA AVERIAS	
	Ensamblaje	Edición 1 / 1



250,00

45,00

45,00

Ø16.5 pasante

30,00 ± 0,02

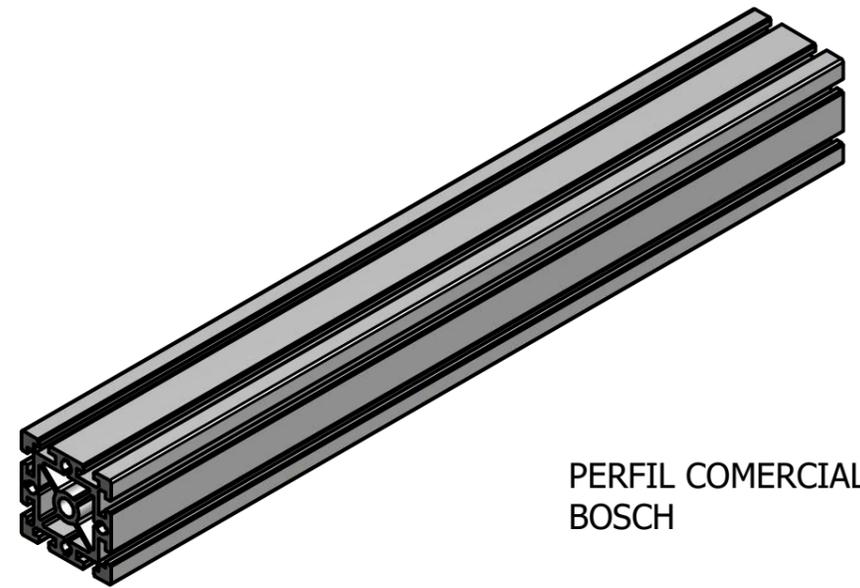
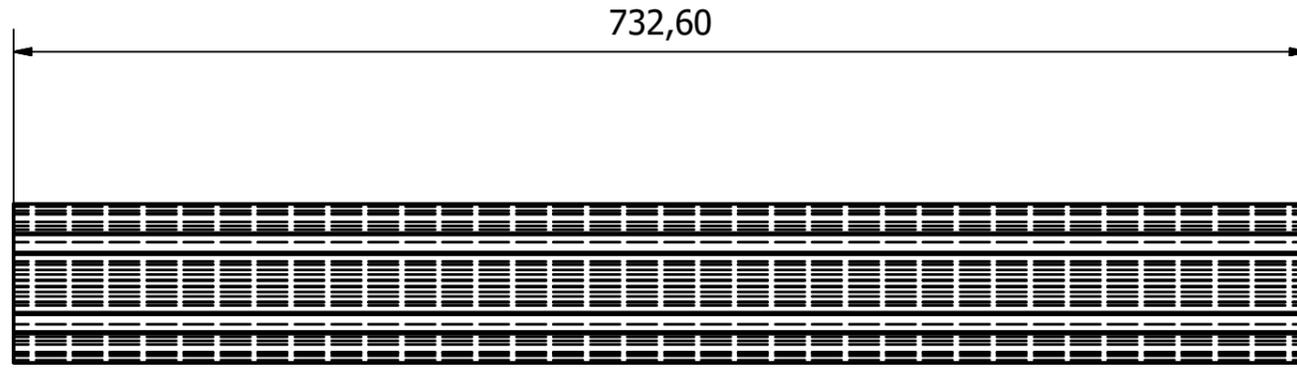
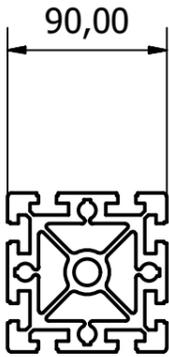
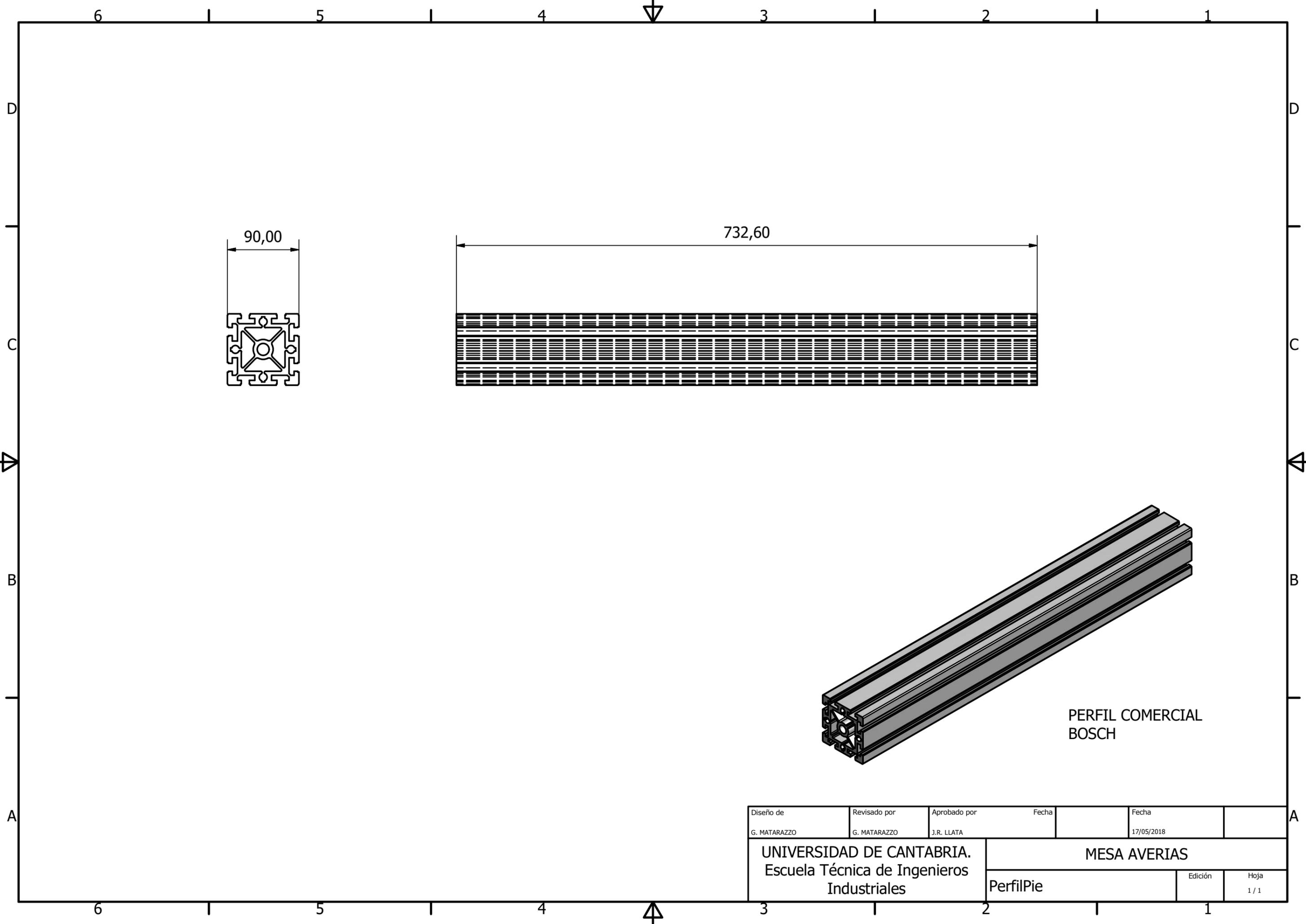
M8 pasante

Ø8,00H7

15,00

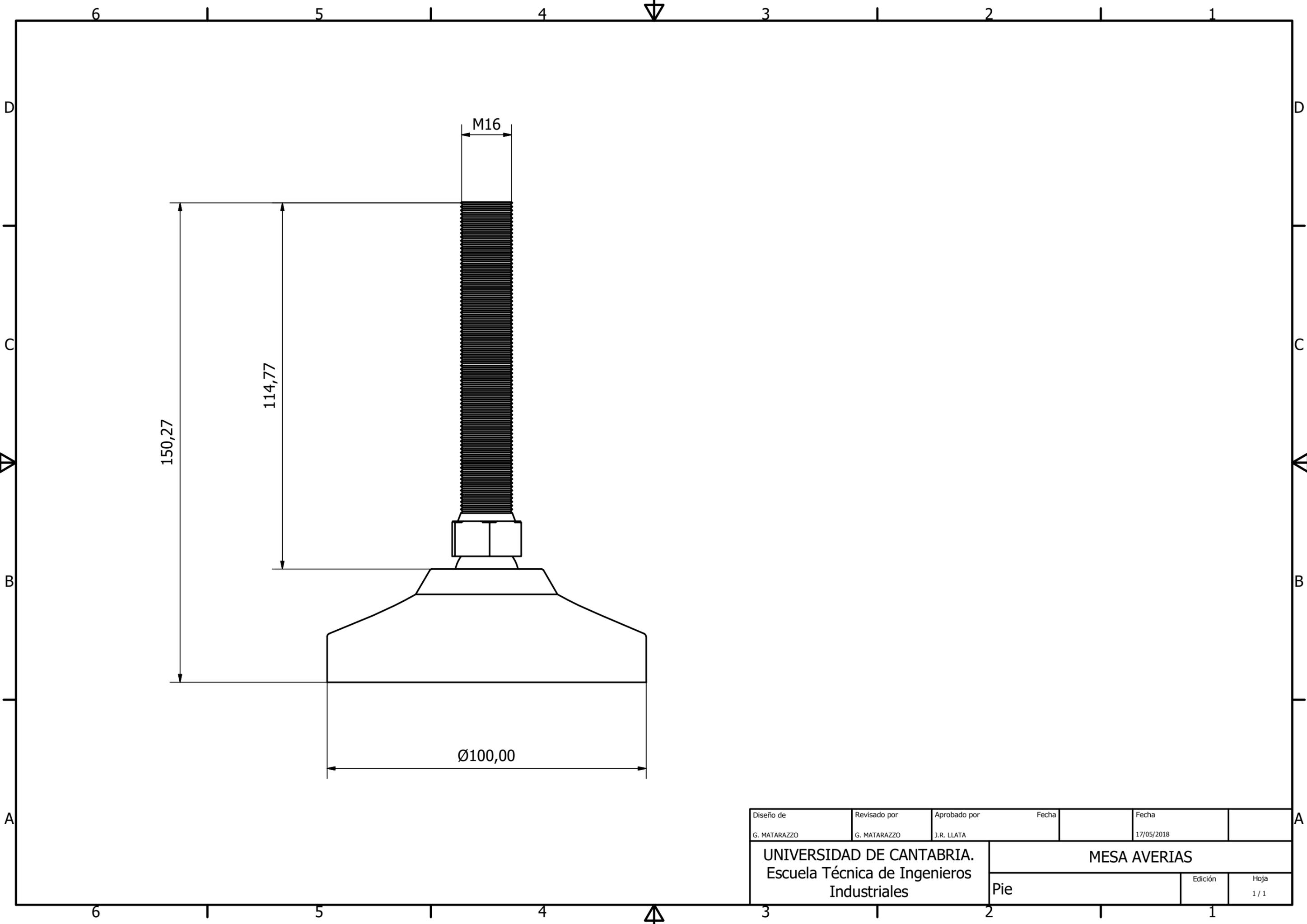
Material: ALUMINIO

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
G. MATARAZZO	G. MATARAZZO	J.R. LLATA		17/05/2018	
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales			MESA AVERIAS		
Mesa			Edición	Hoja	
				1 / 1	



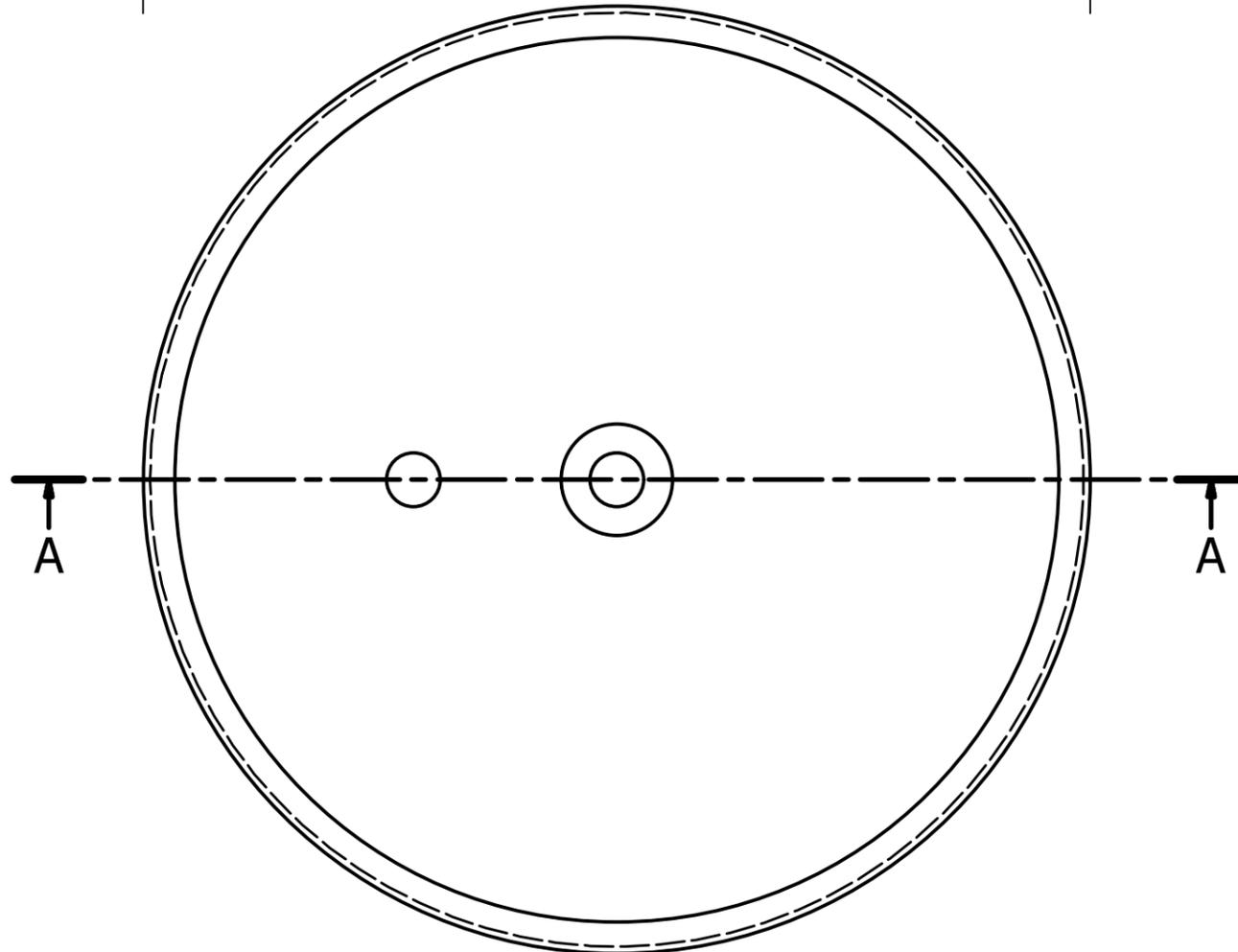
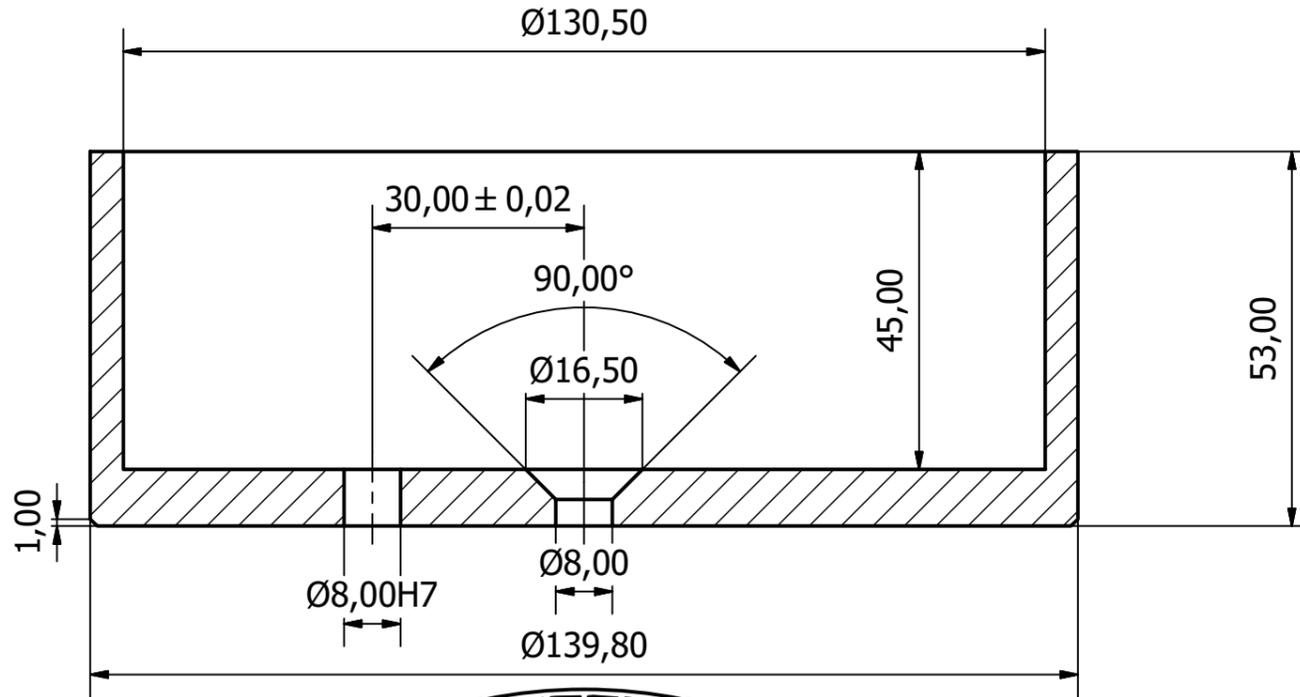
PERFIL COMERCIAL
BOSCH

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
G. MATARAZZO	G. MATARAZZO	J.R. LLATA		17/05/2018	
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales			MESA AVERIAS		
PerfilPie			Edición	Hoja	
				1 / 1	



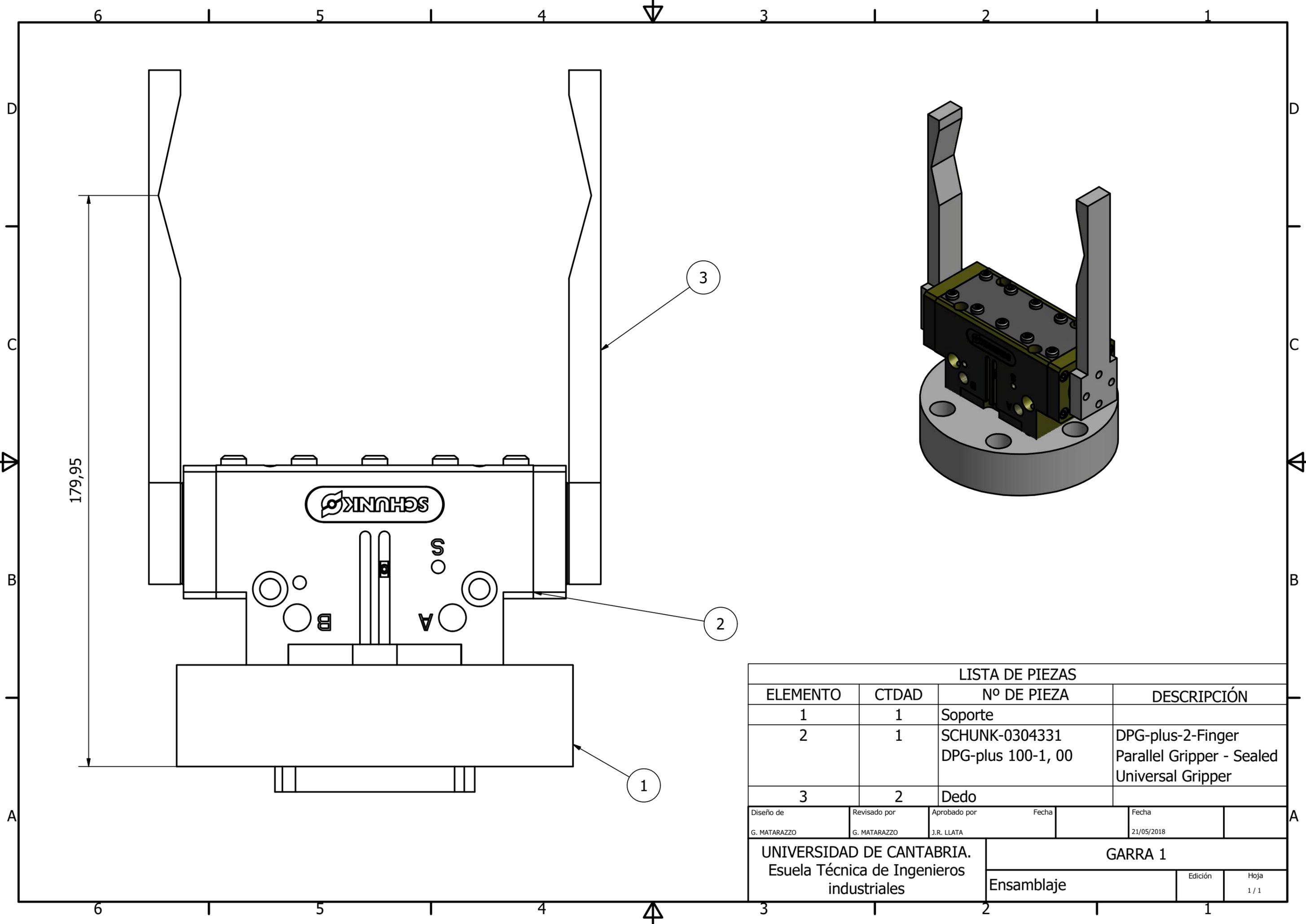
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
G. MATARAZZO	G. MATARAZZO	J.R. LLATA		17/05/2018	
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales			MESA AVERIAS		
Pie			Edición	Hoja	
				1 / 1	

A-A (1 : 1)

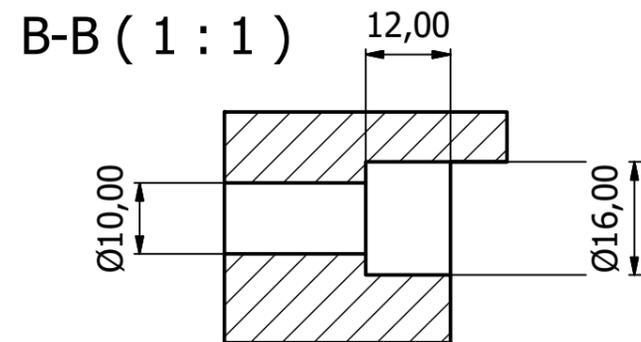
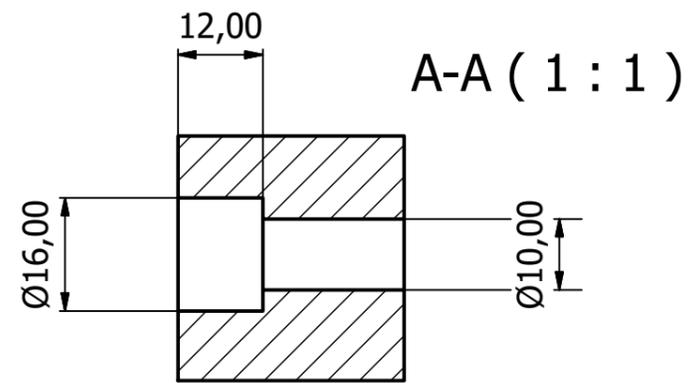
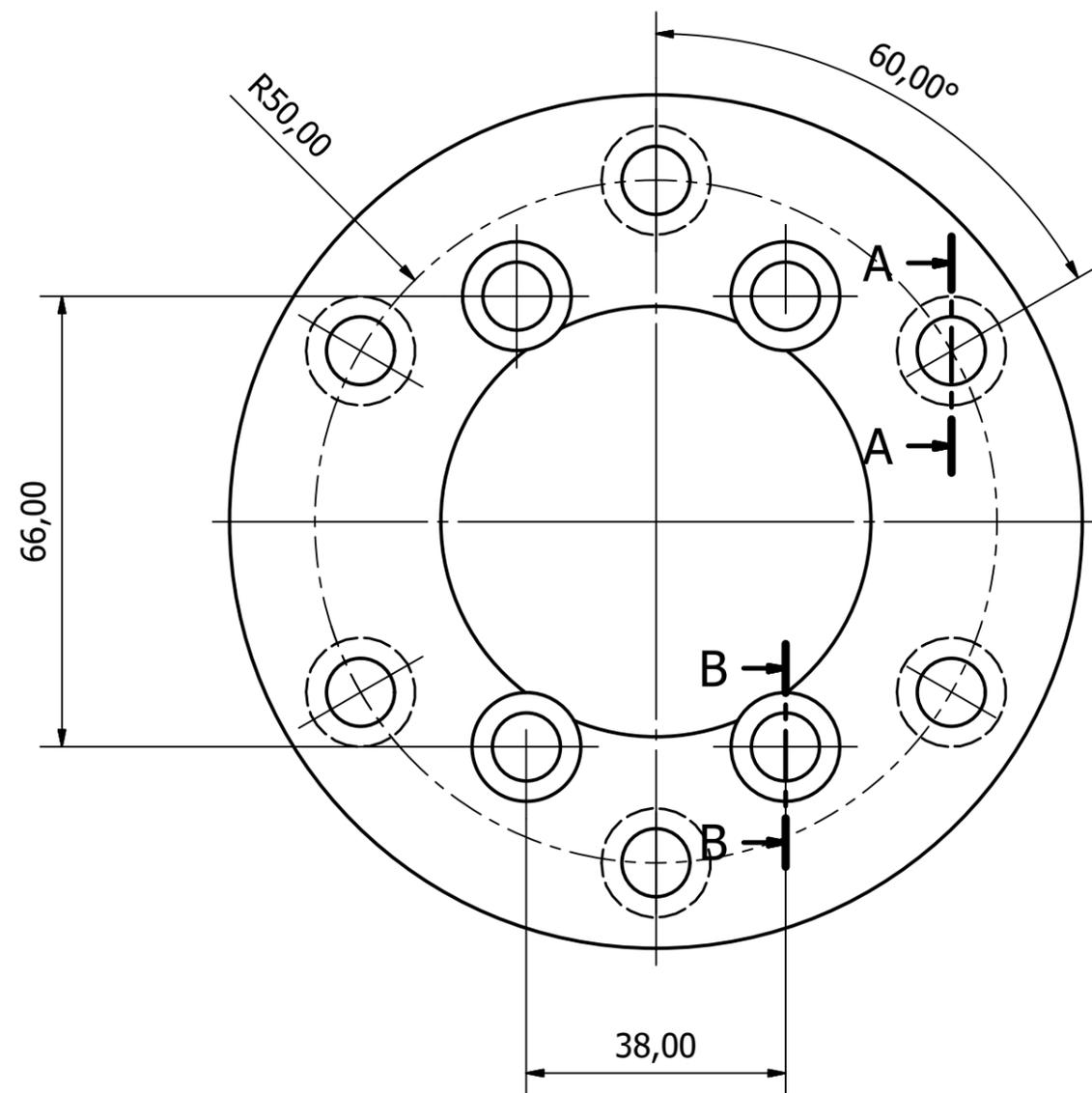
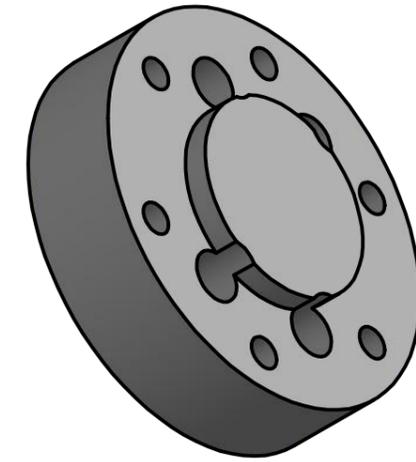
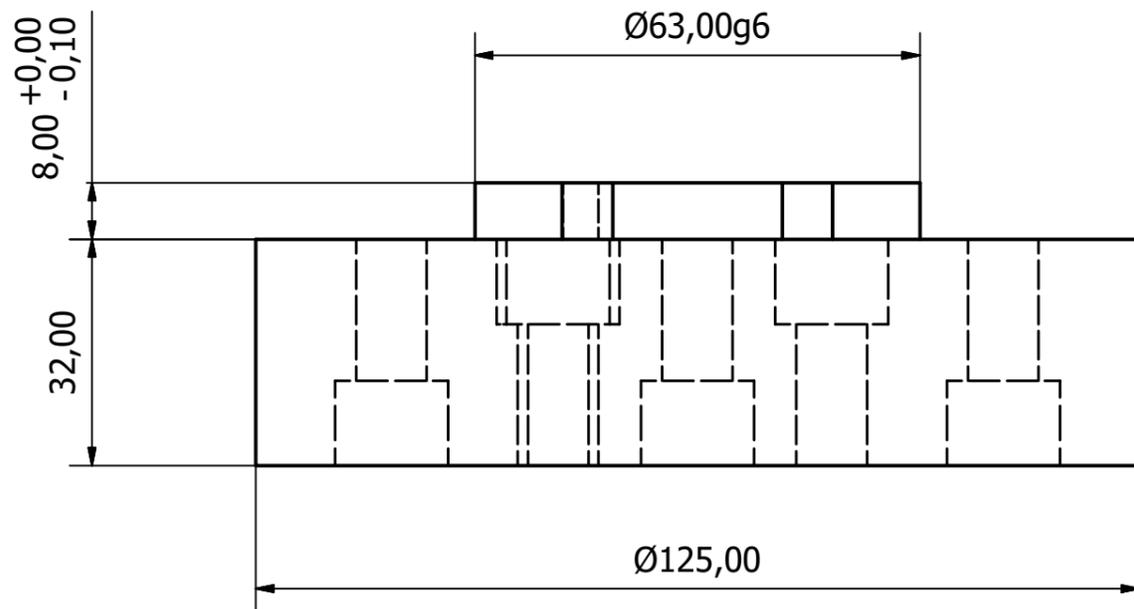


Material: F-174 - Nitrurado

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
G. MATARAZZO	G. MATARAZZO	J.R. LLATA		17/05/2018	
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales			MESA AVERIAS		
			Registro	Edición	Hoja
					1 / 1

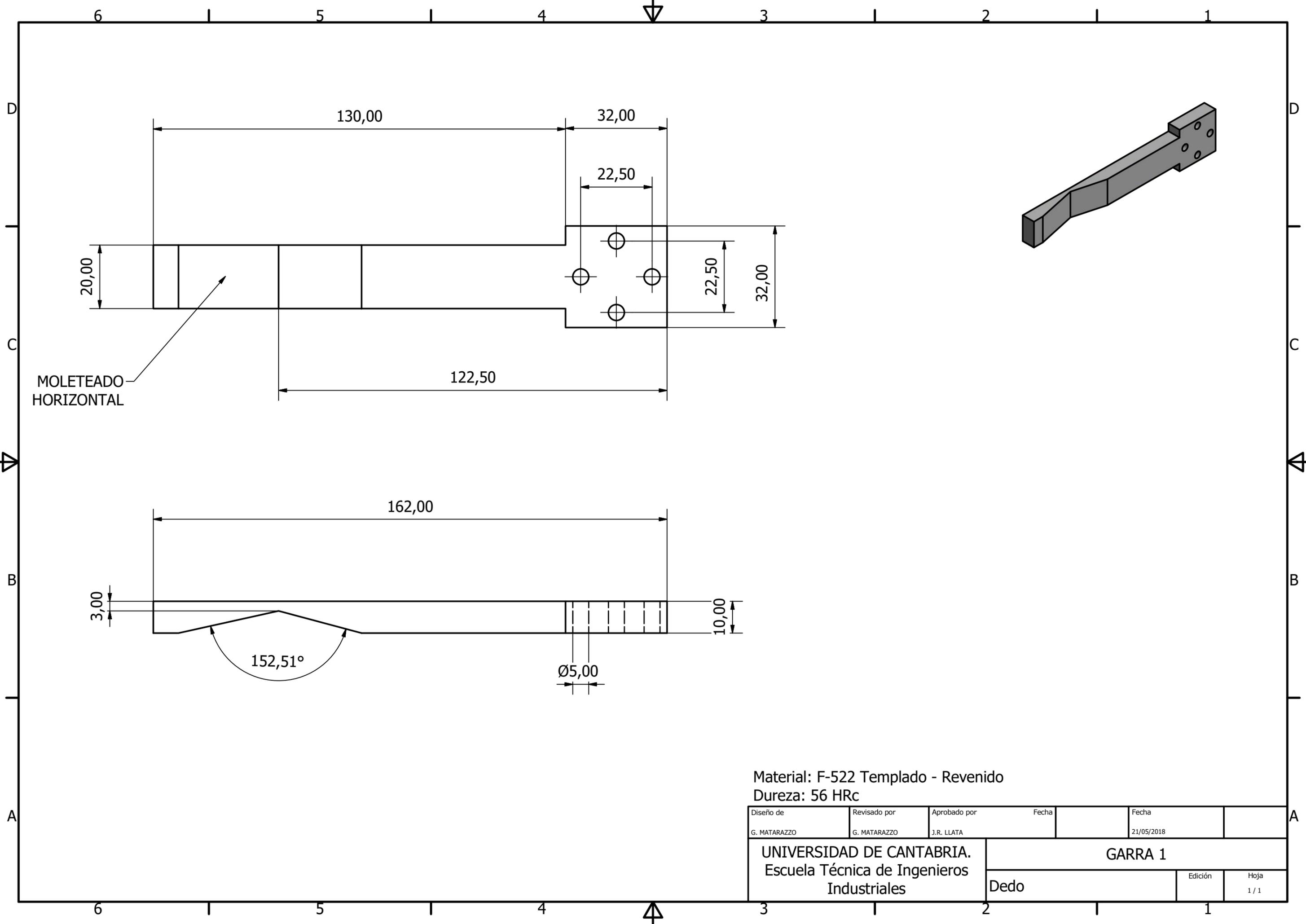


LISTA DE PIEZAS					
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN		
1	1	Soporte			
2	1	SCHUNK-0304331 DPG-plus 100-1, 00	DPG-plus-2-Finger Parallel Gripper - Sealed Universal Gripper		
3	2	Dedo			
Diseño de		Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha
G. MATARAZZO		G. MATARAZZO	J.R. LLATA		21/05/2018
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Esuela Técnica de Ingenieros industriales			GARRA 1		
			Ensamblaje	Edición	Hoja
					1 / 1



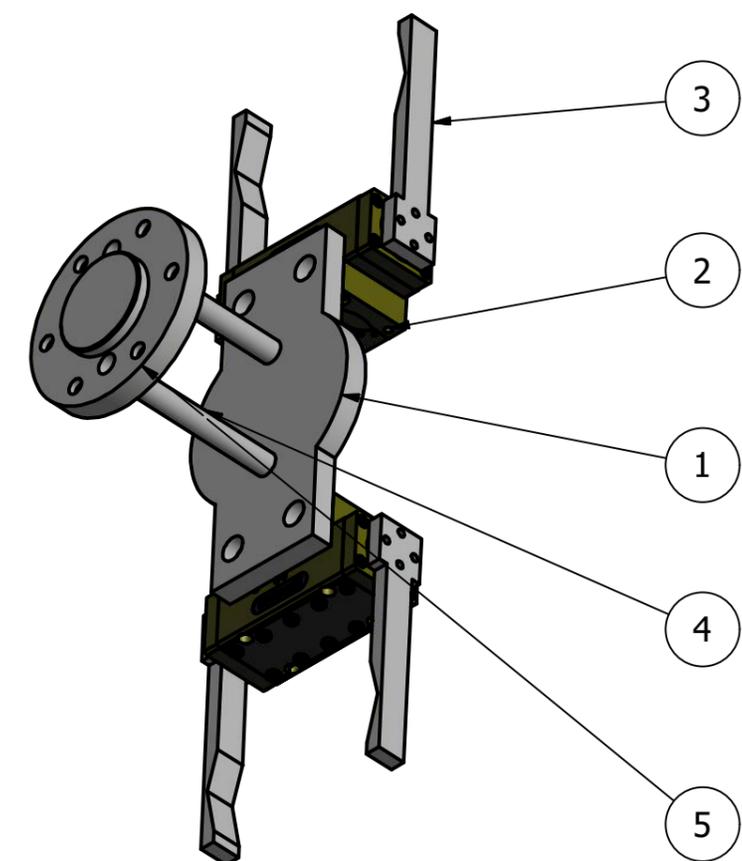
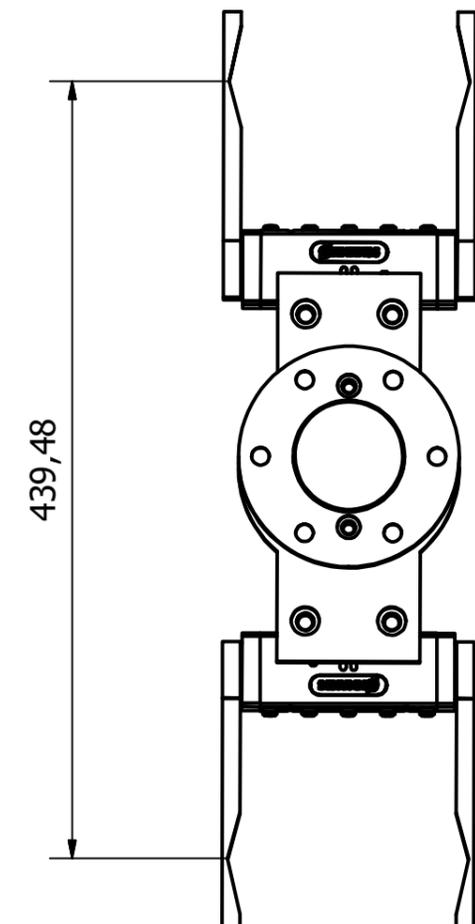
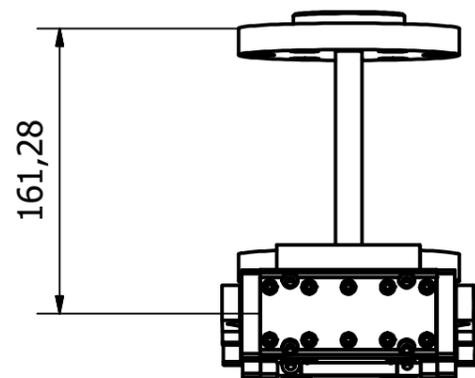
Material: Aluminio

Diseño de G. MATARAZZO	Revisado por G. MATARAZZO	Aprobado por J.R. LLATA	Fecha	Fecha 21/05/2018	
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Escuela Tecnica de Ingenieros Industriales			GARRA 1		
Soporte			Edición	Hoja 1 / 1	



Material: F-522 Templado - Revenido
 Dureza: 56 HRc

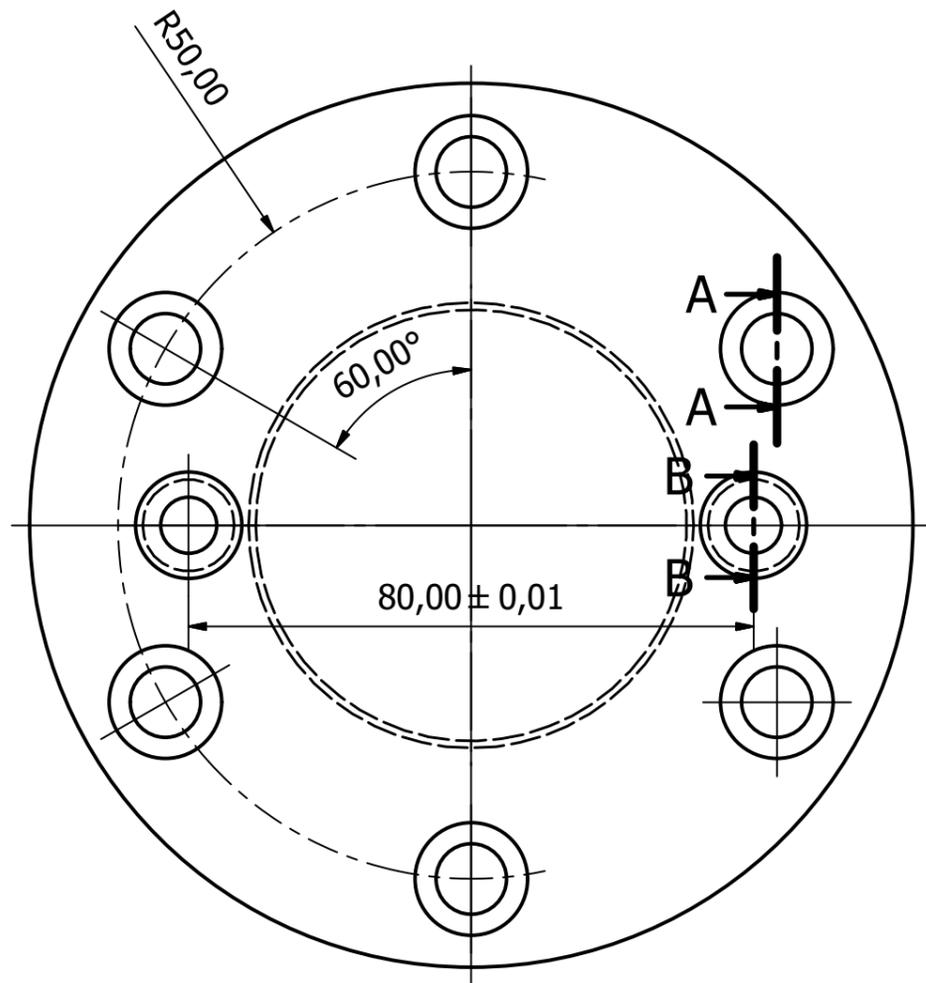
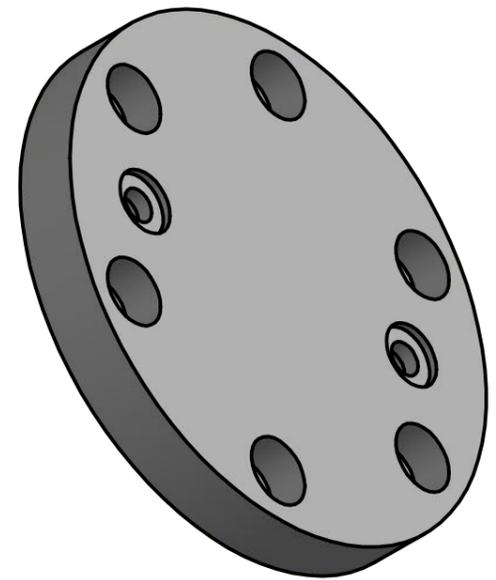
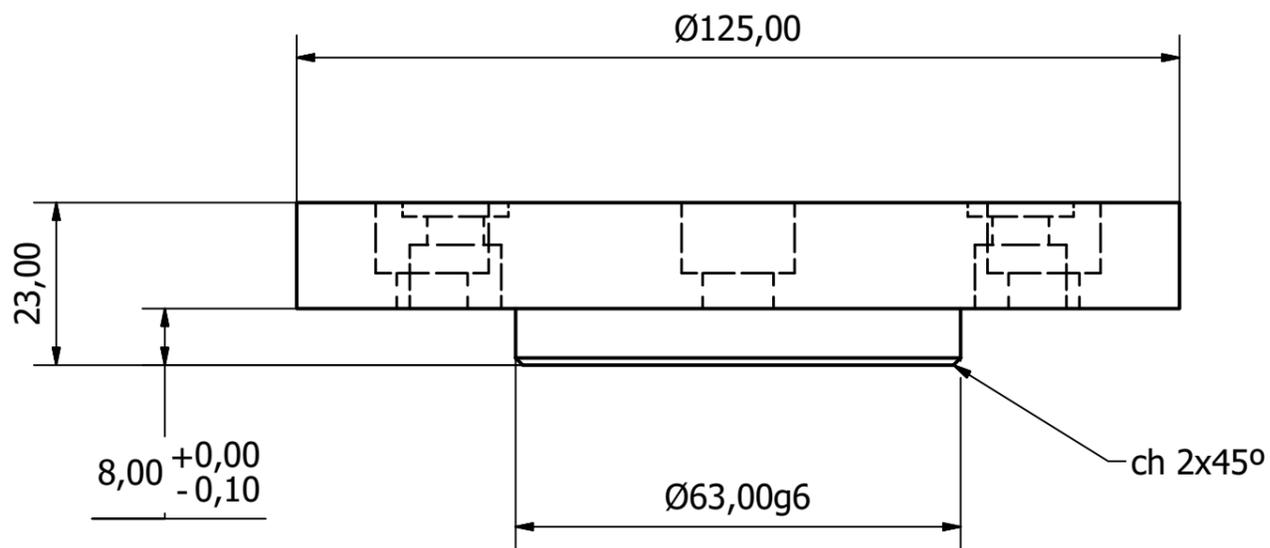
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
G. MATARAZZO	G. MATARAZZO	J.R. LLATA		21/05/2018	
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales			GARRA 1		
Dedo			Edición	Hoja	
				1 / 1	



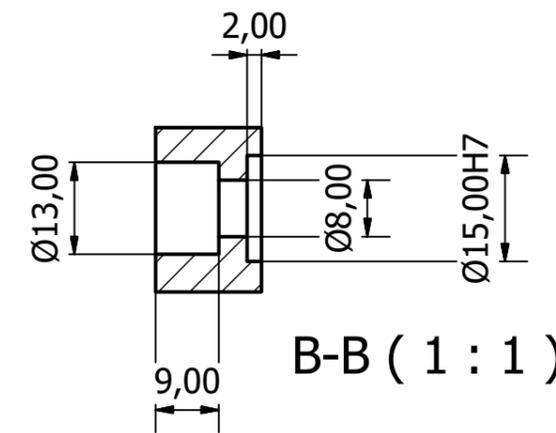
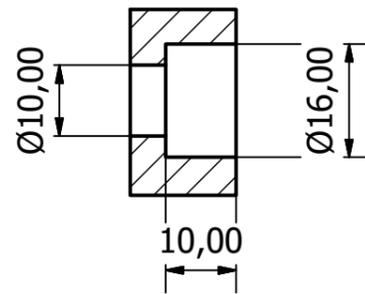
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Soporte_2pinzas	
2	2	SCHUNK-0304331 DPG-plus 100-1, 00	DPG-plus-2-Finger Parallel Gripper - Sealed Universal Gripper
3	4	Dedo	
4	2	Eje	
5	1	Union_robot	

Diseño de G. MATARAZZO	Revisado por G. MATARAZZO	Aprobado por J.R. LLATA	Fecha	Fecha 21/05/2018
---------------------------	------------------------------	----------------------------	-------	---------------------

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales	GARRA 2		
	Ensamblaje	Edición	Hoja 1 / 1

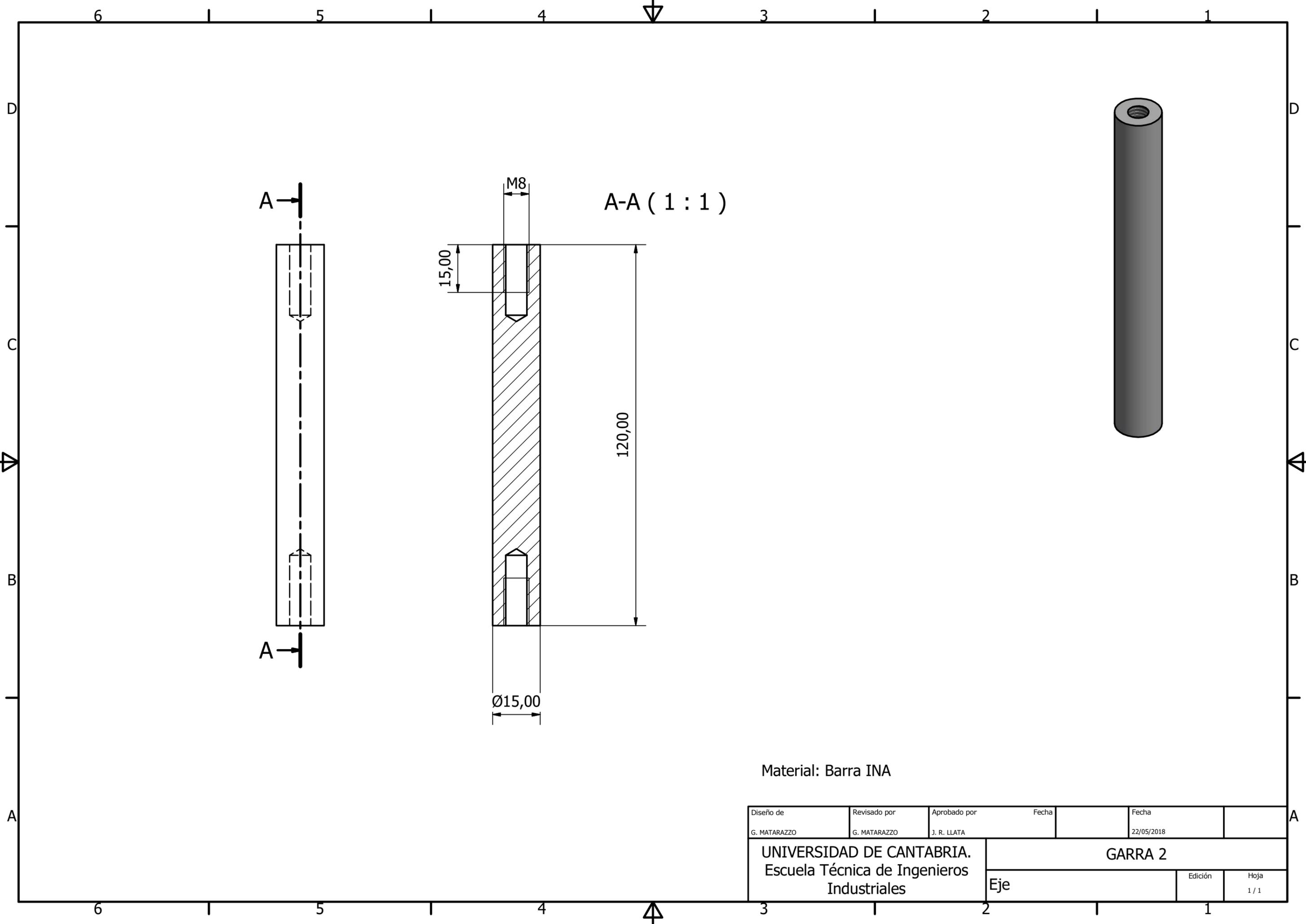


A-A (1 : 1)



Material: Aluminio

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
G. MATARAZZO	G. MATARAZZO	J.R. LLATA		22/05/2018	
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales			GARRA 2		
Union robot			Edición	Hoja	
				1 / 1	



A →
A →

A-A (1 : 1)

15,00

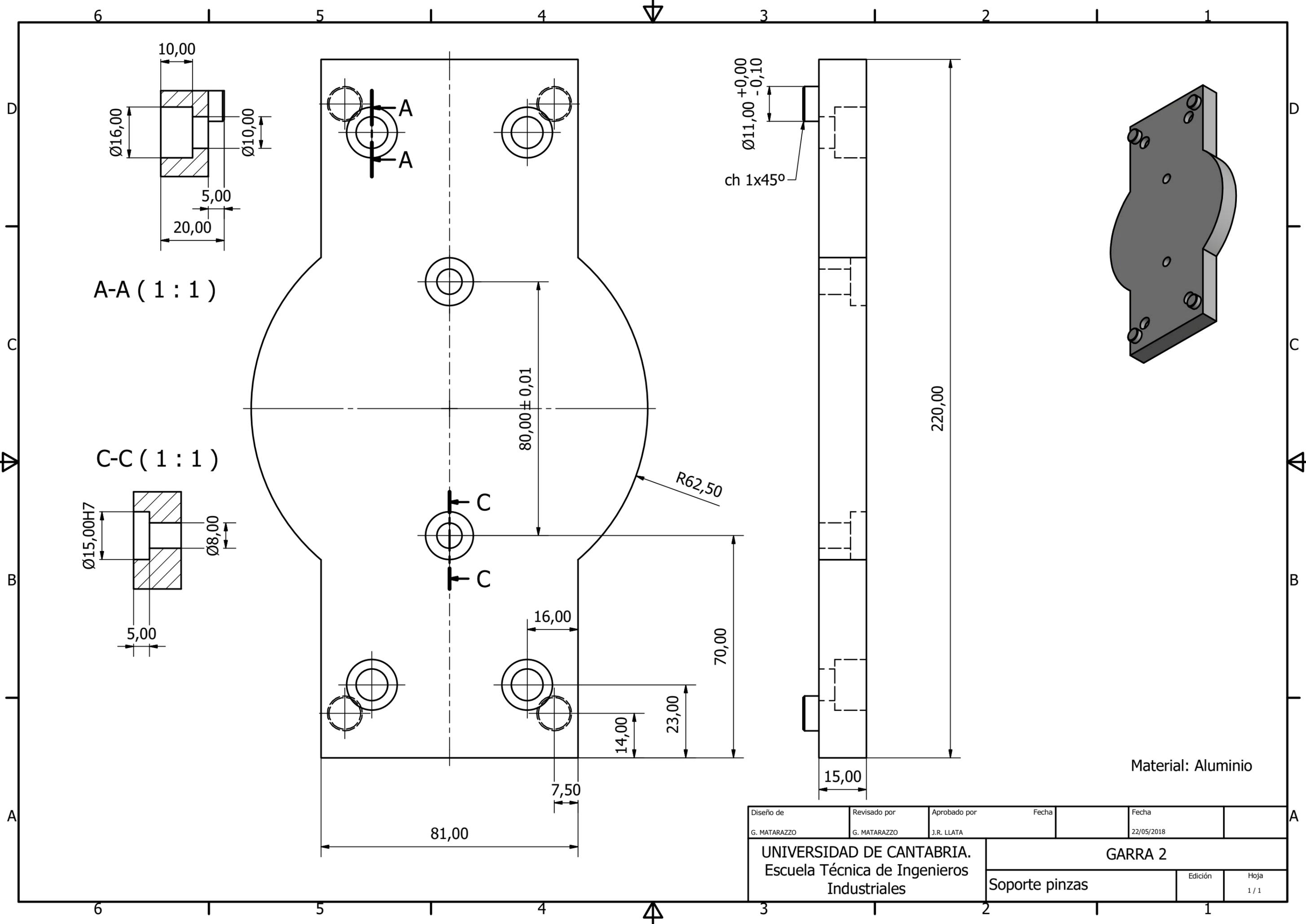
M8

120,00

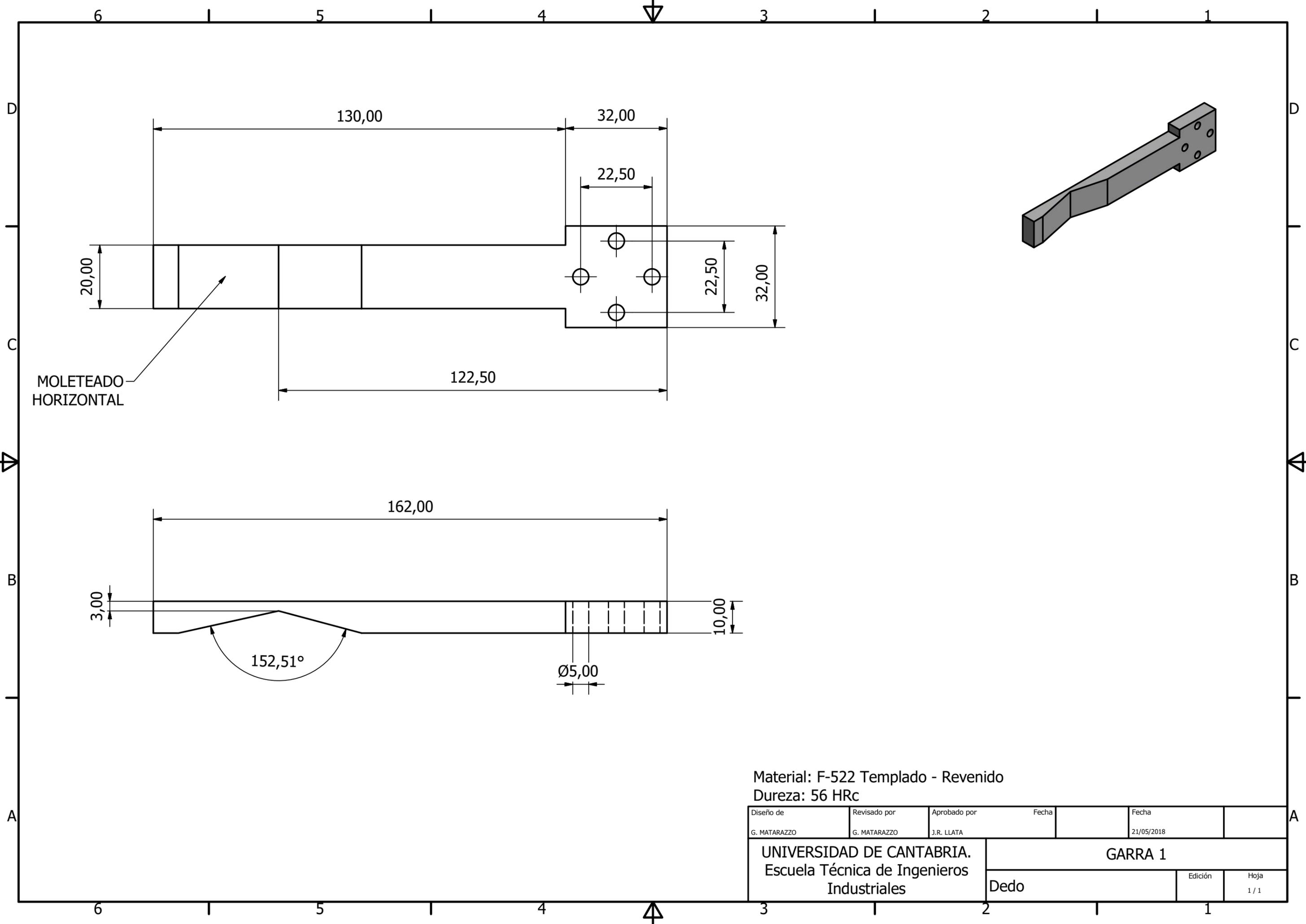
Ø15,00

Material: Barra INA

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
G. MATARAZZO	G. MATARAZZO	J. R. LLATA		22/05/2018	
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales			GARRA 2		
Eje			Edición	Hoja	
				1 / 1	

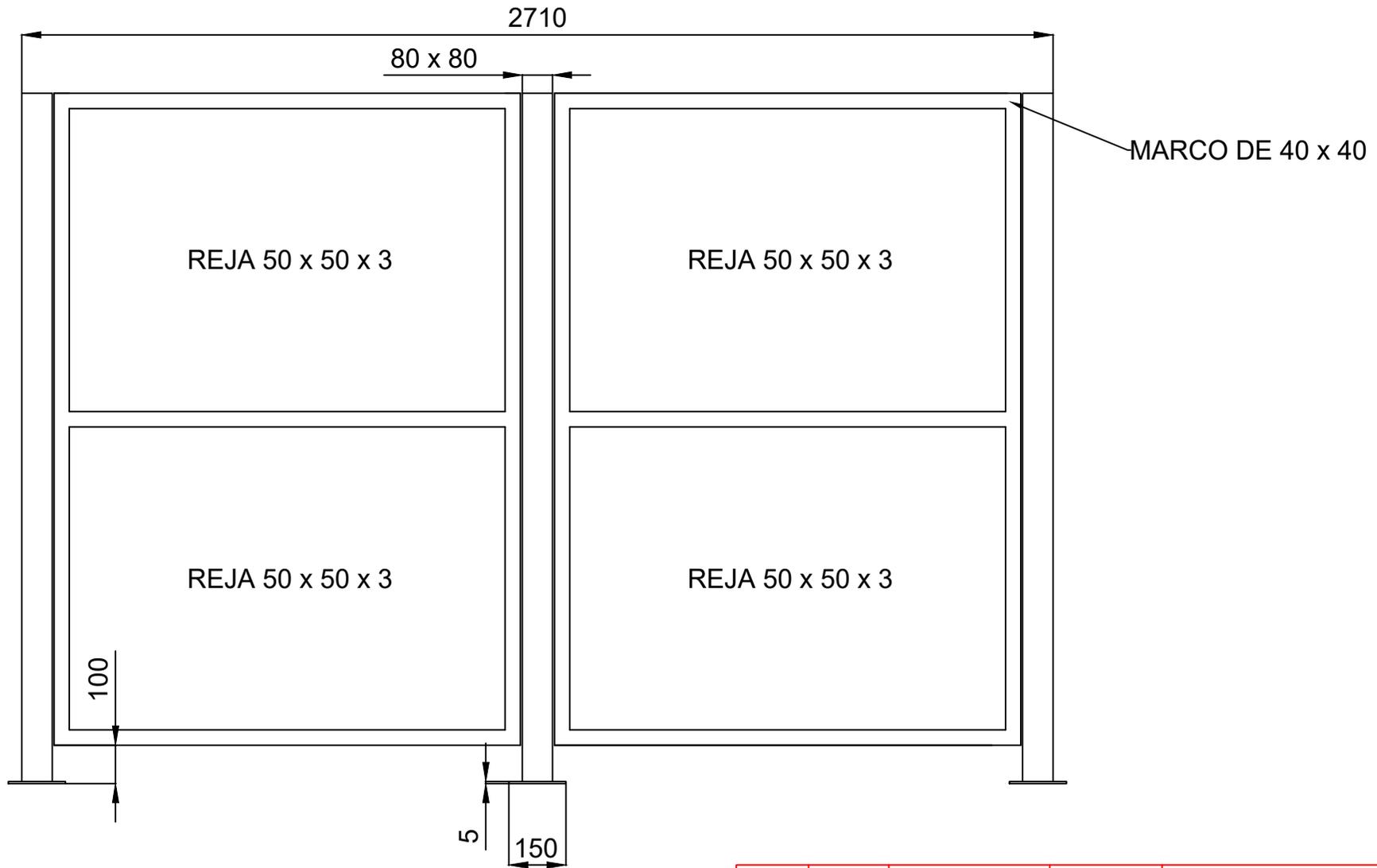


Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
G. MATARAZZO	G. MATARAZZO	J.R. LLATA		22/05/2018	
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales			GARRA 2		
Soporte pinzas			Edición	Hoja	
				1 / 1	



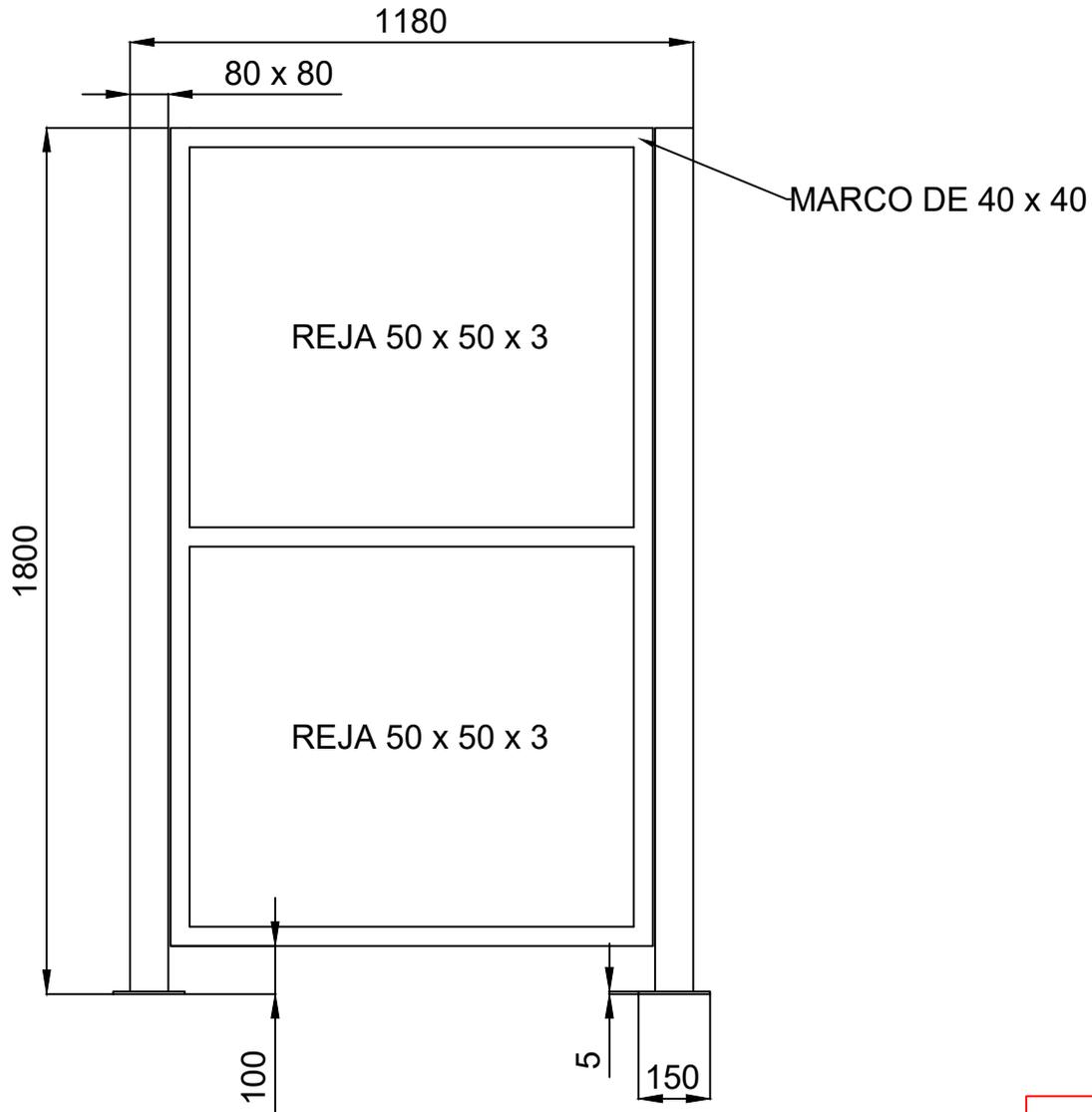
Material: F-522 Templado - Revenido
Dureza: 56 HRC

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
G. MATARAZZO	G. MATARAZZO	J.R. LLATA		21/05/2018	
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales			GARRA 1		
			Dedo	Edición	Hoja
					1 / 1



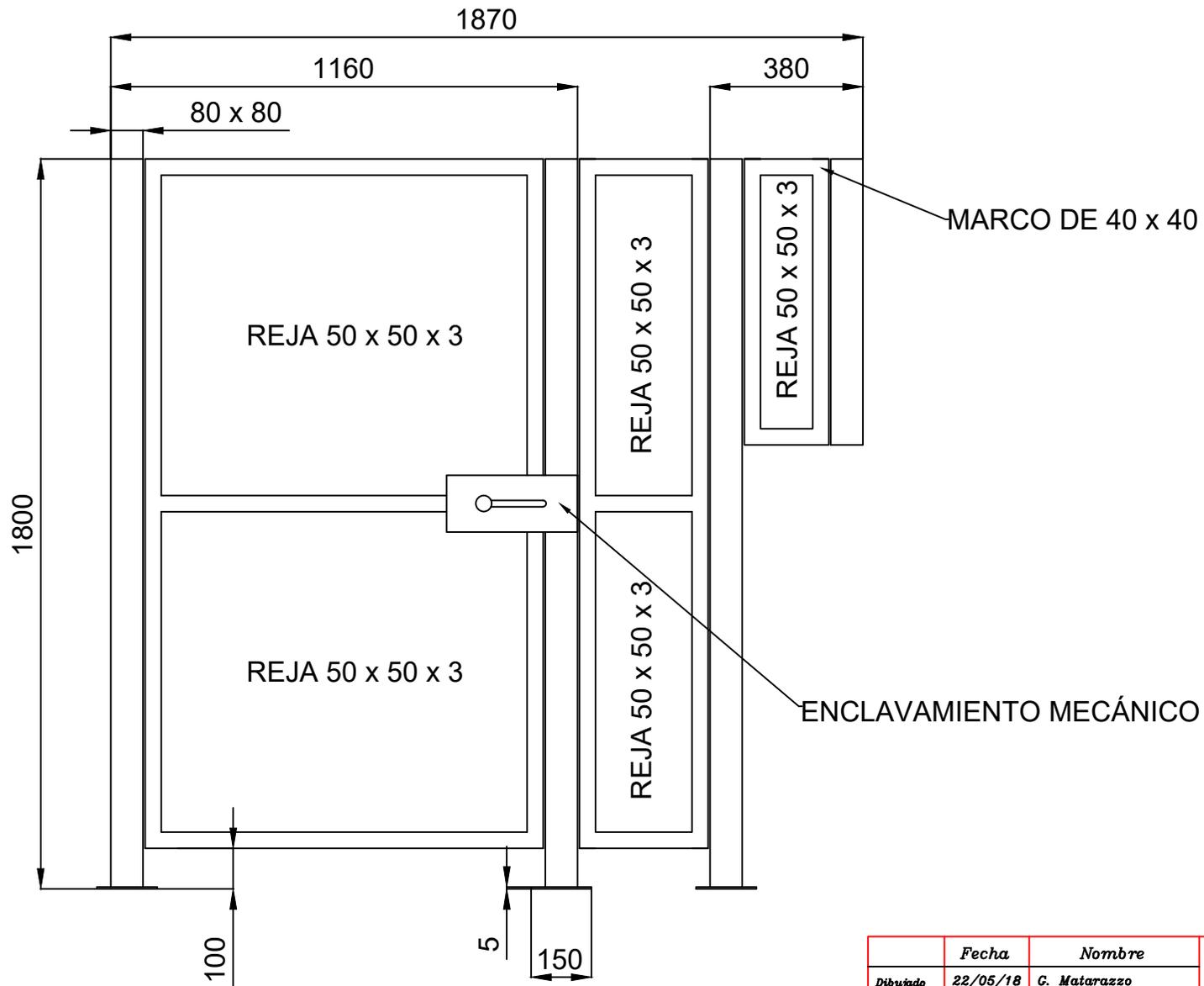
Material: Acero S 235 JR

	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>Firma:</i>	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN
<i>Dibujado</i>	22/05/18	G. Matarazzo		
<i>Comprobado</i>	30/05/18	G. Matarazzo		
<i>id. s. normas</i>				
<i>Escala:</i>	1/1			<i>Lamina n.</i> 1
	PROTECCIÓN PERIMETRAL PROTECCIÓN 1			<i>N. Alumno: Gustavo Matarazzo</i>
				<i>Curso: Máster Ing. Industrial</i>



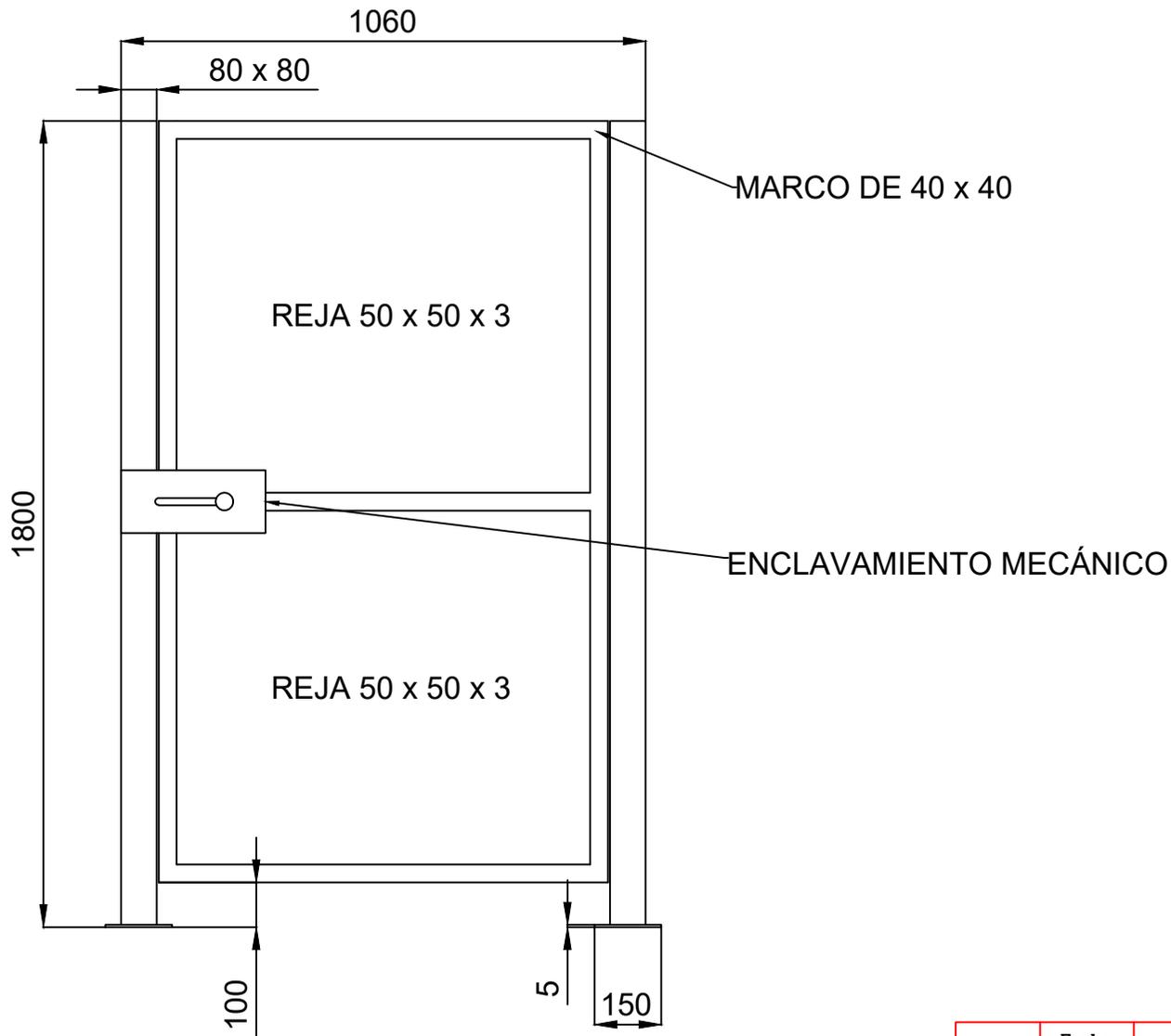
Material: Acero S 235 JR

	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>Firma:</i>	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN
<i>Dibujado</i>	22/05/18	G. Matarazzo		
<i>Comprobado</i>	30/05/18	G. Matarazzo		
<i>id. s. normas</i>				
<i>Escala:</i>	1/1			<i>Lamina n.</i> 2
	PROTECCIÓN PERIMETRAL PROTECCIÓN 2			<i>N. Alumno: Gustavo Matarazzo</i>
				<i>Curso: Máster Ing. Industrial</i>



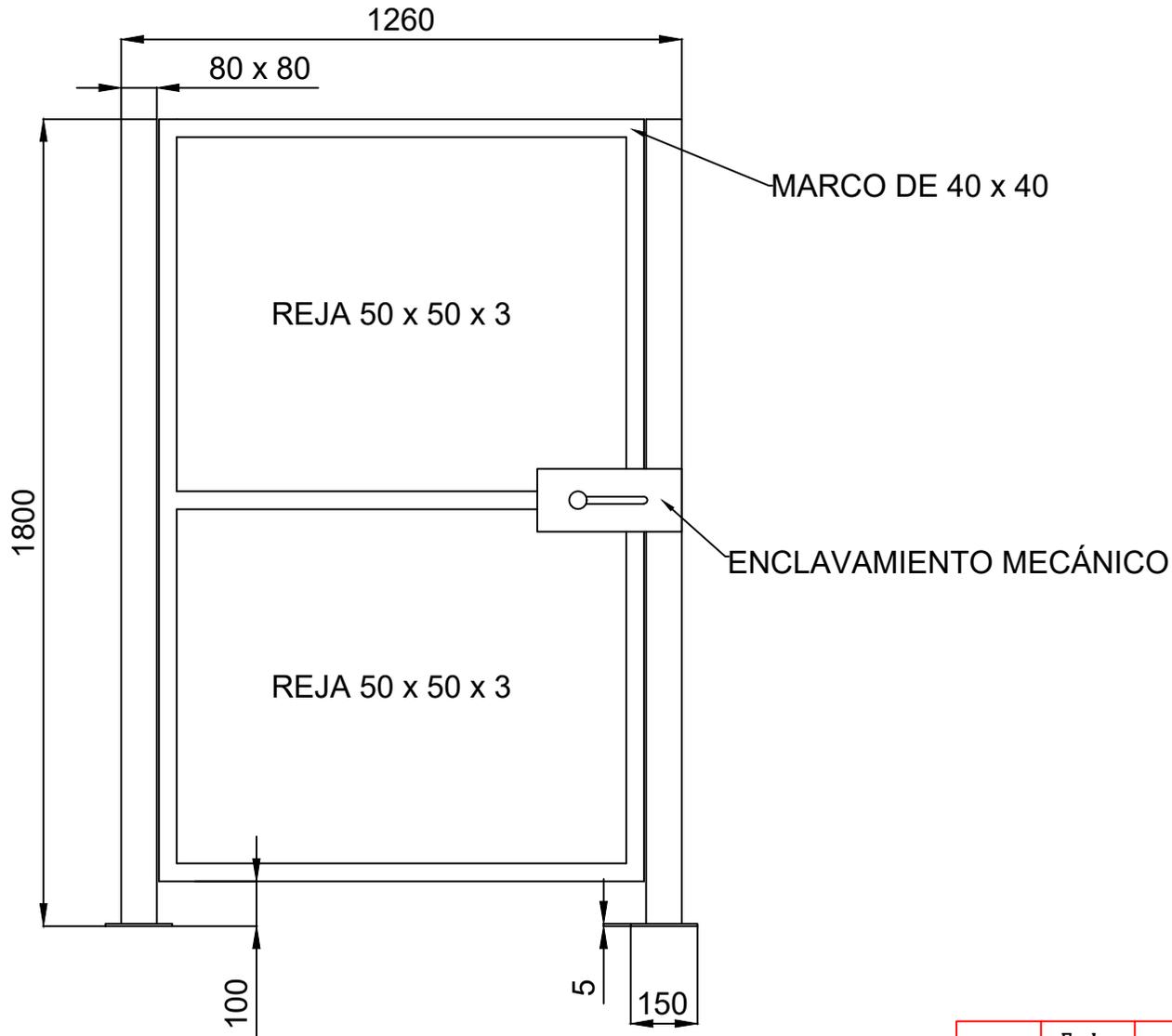
Material: Acero S 235 JR

	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>Firma:</i>	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN
<i>Dibujado</i>	22/05/18	G. Matarazzo		
<i>Comprobado</i>	30/05/18	G. Matarazzo		
<i>id.s.normas</i>				
<i>Escala:</i>	1/1 PROTECCIÓN PERIMETRAL PROTECCIÓN 3			<i>Lamina n.</i>
				5
				<i>N. Alumno: Gustavo Matarazzo</i>
				<i>Curso: Máster Ing. Industrial</i>



Material: Acero S 235 JR

	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>Firma:</i>	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN
<i>Dibujado</i>	22/05/18	G. Matarazzo		
<i>Comprobado</i>	30/05/18	G. Matarazzo		
<i>id. s. normas</i>				
<i>Escala:</i>	1/1			<i>Lamina n.</i> 3
PROTECCIÓN PERIMETRAL PUERTA 1				<i>N. Alumno: Gustavo Matarazzo</i>
				<i>Curso: Máster Ing. Industrial</i>



Material: Acero S 235 JR

	<i>Fecha</i>	<i>Nombre</i>	<i>Firma:</i>	UNIVERSIDAD DE CANTABRIA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN
<i>Dibujado</i>	22/05/18	G. Matarazzo		
<i>Comprobado</i>	30/05/18	G. Matarazzo		
<i>id. s. normas</i>				
<i>Escala:</i>	1/1			<i>Lamina n.</i> 4
	PROTECCIÓN PERIMETRAL PUERTA 2			<i>N. Alumno:</i> Gustavo Matarazzo
				<i>Curso:</i> Máster Ing. Industrial

3. PLIEGO DE CONDICIONES

4 PLIEGO DE CONDICIONES

El presente pliego tiende a unificar criterios y establecer normas definidas en las obras que se realizarán en el presente proyecto. Se establecerán los criterios que se han de aplicar en la ejecución de las mismas; también se deben fijar las características y ensayos de los materiales a emplear, las normas que se han de seguir en la ejecución de las distintas unidades de obra, las pruebas previstas para la recepción y las formas de medida y abono de las obras.

El pliego incluirá las prescripciones técnicas que han de regir en la ejecución de las obras de nuestro proyecto, así como las condiciones generales. Serán objeto de estudio todas las obras incluidas en el presupuesto, abarcando todos los oficios y materiales que se emplearán en ella.

4.1 PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES.

El objeto del presente pliego de condiciones es definir principalmente las obligaciones del desarrollador para llevar a cabo los trabajos con garantía. Este pliego también contiene las prescripciones generales que han de regir la ejecución del proyecto y por cuyo cumplimiento velará el ingeniero proyectista.

4.1.1 Dirección facultativa

La Dirección Facultativa de las obras e instalaciones recaerá en el ingeniero proyectista.

Es misión específica de la Dirección Facultativa la dirección y vigilancia de los trabajos que se realicen, con autoridad técnica legal, completa e indiscutible sobre las personas y cosas situadas en obra y con relación con los trabajos que para la ejecución del contrato se lleven a cabo pudiendo incluso con causa justificada, recusar al Contratista, si considera que al adoptar esta solución es útil y necesaria para la debida marcha de la obra.

4.1.2 Interpretación de documentos y planos de ejecución.

La interpretación técnica del proyecto corresponderá a la Dirección Facultativa.

El Contratista deberá ejecutar por su cuenta todos los dibujos y planos de detalle necesarios para facilitar y organizar la ejecución de los trabajos. Dichos planos, acompañados con todas las justificaciones correspondientes, deberán ser sometidos a la aprobación de la Dirección Facultativa, con antelación a la fecha en que piense ejecutar los trabajos a que dichos diseños se refieran.

4.1.3 Normas aplicables

Además de las condiciones que se especifican en el siguiente pliego, se tendrán en consideración, durante la ejecución de los trabajos, las normas aplicables a este diseño, que corresponderán en todo momento al nivel de calidad exigido por el ingeniero proyectista. Se deberán cumplir las siguientes.

La normativa respectiva vigente para los robots industriales:

- **UNE-EN ISO 10218-1:2011** Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1: Robots.
- **UNE-EN ISO 10218-2:2011** Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración.
- **ISO/TR 13309:1995** Manipulación de robots industriales. Guía informativa sobre los equipos de ensayo y métodos de metrología de operación para la evaluación del desempeño del robot de acuerdo con la norma ISO 9283.
- **ISO 9283:1998** Robots manipuladores industriales. Criterios de análisis de prestaciones y métodos de ensayo relacionados.
- **ISO 9409-1:2004** Manipulación de robots industriales. Interfaces mecánicas. Parte 1: Placas.
- **ISO 9409-2:2002** Manipulación de robots industriales. Interfaces mecánicas. Parte 2: Ejes.
- **ISO 9787:2013** Robots y dispositivos robóticos. Sistemas de coordenadas y nomenclaturas de movimiento.
- **ISO 13482:2014** Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots para el cuidado personal.
- **ISO 8373:2012** Robots y dispositivos robóticos. Vocabulario.

- **ISO 14539:2000** Robots manipuladores industriales. Transporte de objetos con dispositivos de agarre tipo empuñadura. Vocabulario y presentación de características.

La normativa respectiva vigente para los resguardos, protecciones y seguridad:

- **UNE-EN ISO 14120:2016**: Seguridad de las máquinas. Resguardos. Requisitos generales para el diseño y construcción de resguardos fijos y móviles. (ISO 14120:2015).
- **UNE-EN ISO 12100:2012**: Seguridad de las máquinas. Principios generales para el diseño. Evaluación del riesgo y reducción del riesgo. (ISO 12100:2010)
- **UNE-EN ISO 14119**: Seguridad de las máquinas. Dispositivos de enclavamiento asociados a resguardos. Principios para el diseño y selección.
- **UNE-EN ISO 13850:2007**: Seguridad de las máquinas. Parada de emergencia. Principios para el diseño. (ISO 13850:2006)
- **UNE-EN ISO 13849-1:2007**: Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad. Parte 1: Principios generales para el diseño. (ISO 13849-1:2006)
- **UNE-EN 1037**: Prevención de una puesta en marcha intempestiva.
- **UNE-EN ISO 13857:2008**: Seguridad de las máquinas. Distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores e inferiores (ISO 13857:2008).
- **UNE-EN 349**: Distancias mínimas para evitar el aplastamiento de partes del cuerpo humano.
- **UNE-EN ISO 4414:2011**: Transmisiones neumáticas. Reglas generales y requisitos de seguridad para los sistemas y sus componentes. (ISO 4414:2010).

4.1.4 Equipos para la ejecución de los trabajos

El Contratista deberá emplear los materiales y equipos señalados en el presente proyecto, y realizará los trabajos de montajes de acuerdo con el mismo.

Si los equipos no cumplen las características y las condiciones establecidas en este pliego de condiciones, deberán ser reemplazados por el ejecutor por otros que sí las cumplan.

4.1.5 Objeto de los planos y especificaciones

El objeto de los planos y especificaciones es mostrar al Contratista las formas, dimensiones, calidades y cuantías de piezas y sistemas a realizar, su disposición relativa en el conjunto de la instalación para la ejecución del proyecto mientras el ingeniero proyectista no indique lo contrario.

El Contratista realizará todo el trabajo indicado en los planos y descrito en las especificaciones o pliegos de todos los trabajos considerados como necesarios para completar el montaje de manera aceptable y consistente, y a los precios ofertados.

4.1.6 Contradicciones u omisiones en la documentación

Lo dispuesto en el pliego de condiciones técnicas y no recogido en los planos, o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviesen ambos documentos. En caso contrario prevalece lo que está dispuesto en el pliego de condiciones técnicas. En todo caso prevalecerá la aclaración que dé el ingeniero proyectista.

Las omisiones en el pliego de condiciones y en los planos que sean imprescindibles para llevar a buen puerto el proyecto, no eximen al Contratista de la obligación de ejecutar dichos detalles omitidos o erróneamente descritos, debiendo ser ejecutados como si hubiera sido completamente especificados en los planos y pliegos de condiciones técnicas del proyecto; y siempre deberá consultar al ingeniero proyectista sobre la solución adoptada.

4.1.7 Condiciones generales en la ejecución de los trabajos

Todos los trabajos se deberán ejecutar con estricta sujeción a la documentación presentada en el presente proyecto. La forma y dimensiones de las diferentes partes que componen el proyecto, así como los materiales y equipos que deben emplear, se ajustarán a lo que se detalla en los planos y mediciones.

El Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha subcontratado y de las faltas o defectos que en estos puedan existir por su incorrecta realización o por el empleo de materiales de deficiente calidad no autorizados expresamente por el ingeniero proyectista. En tal caso, el ingeniero proyectista podrá disponer que dichas partes sean desmontadas y reconstruidas de acuerdo a las especificaciones requeridas.

El Contratista deberá atenerse a los tiempos y dimensiones dispuestos en los planos o especificaciones.

4.1.8 Variaciones en las condiciones generales de la ejecución de los trabajos

Es posible que se den modificaciones oportunas durante la ejecución de los trabajos que únicamente podrán ser realizadas por el ingeniero proyectista.

Los trabajos se realizarán según las modificaciones que previamente hayan sido aprobados y a las órdenes e instrucciones que entregue el ingeniero proyectista, siempre y cuando esto no signifique un aumento de los presupuestos aprobados.

Para cualquier cambio o modificación del proyecto que rija el contrato, es necesario que el ingeniero proyectista redacte una propuesta debidamente justificada y descrita.

Si fuese conveniente utilizar nuevos materiales o equipos o utilizar obras que no se recojan en el presupuesto base, el ingeniero proyectista deberá realizar propuestas escritas justificadas y propiamente descritas.

4.1.9 Ensayos y pruebas

Para el debido control de la calidad de la obra y de sus materiales se deberán realizar los ensayos y pruebas indicados en las correspondientes Especificaciones Técnicas. Asimismo el ingeniero proyectista podrá solicitar un certificado de calidad de los materiales entregados en la construcción por el Contratista.

El coste total de estos ensayos correrá por cuenta del Contratista.

4.1.10 Pruebas de funcionamiento

Una vez concluida la fabricación del sistema se someterá a un test donde se verificará que todos los elementos y sistemas están en consonancia con lo especificado.

4.2 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES Y EQUIPOS (ESPECIFICACIONES TÉCNICAS)

En este punto se detallan las características técnicas de los materiales, fabricación de los componentes, montajes y equipos a emplear.

4.2.1 Documentación técnica de referencia

El Contratista deberá atenerse en la ejecución de los trabajos a las condiciones especificadas en los capítulos de este Pliego de Materiales y Equipos.

En aquellos puntos no señalados explícitamente, deberá atenerse a las condiciones especificadas en los textos oficiales que se indican a continuación:

1. Generales

- Reglamento de Seguridad e Higiene en el trabajo en la industria de la metalurgia.
- Directiva Europea 2001/45/CE, que se modifica la Directiva 89/655/CEE, relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo.

2. Instalaciones

- Reglamento electrotécnico de Baja Tensión.
- Instrucciones MI BT complementarias al reglamento electrotécnico de Baja Tensión.
- Reglamento de actividades molestas, insolubles, nocivas y peligrosas.
- Normas de Seguridad para elementos de transmisión mecánica (ANSI/ASSMEB15.1-1996).

- Normas armonizadas ISO 13849-1 bajo la Directiva de Seguridad en Maquinaria 2006/42/CE.

4.2.2 Robots

Los robots a utilizar son **IRB 4600** de la marca **ABB**.

Se debe asegurar las condiciones del DataSheet del robot.

Specification			
Robot version IRB	Reach (m)	Payloads (kg)	Armload (kg)
IRB 4600-60/2.05	2.05	60	20
IRB 4600-45/2.05	2.05	45	20
IRB 4600-40/2.55	2.55	40	20
IRB 4600-20/2.50	2.51	20	11
Number of axes	6+3 external (up to 36 with MultiMove)		
Protection	Standard IP67, as option Foundry Plus 2		
Mounting	Floor, shelf, inverted or tilted		
Controller	IRC5 Single cabinet, IRC5 Dual cabinet		

Performance	
	Path repeatability RT (mm)*:
IRB 4600-60/2.05	0.46
IRB 4600-45/2.05	0.13
IRB 4600-40/2.55	0.28
IRB 4600-20/2.50	0.17

*Measured at speed 250 mm/s.

Technical information	
Electrical Connections	
Supply voltage	200-600 V, 50-60 Hz
Physical	
Dimensions robot base	512 x 676 mm
Height	
IRB 4600-60/2.05	1727 mm
IRB 4600-45/2.05	1727 mm
IRB 4600-40/2.55	1922 mm
IRB 4600-20/2.50	1922 mm
Weight	
IRB 4600-60/2.05	425 kg
IRB 4600-45/2.05	425 kg
IRB 4600-40/2.55	435 kg
IRB 4600-20/2.50	412 kg
Environment	
Ambient temperature for mechanical unit	
During operation	+5° C (41° F) to + 45° C (113° F)
During transportation and storage	-25° C (-13° F) to +55° C (131° F)
For short periods (max 24 h) up to +70° C (158° F)	
Relative humidity	Max 95%
Safety	
	Double circuits with supervisions, emergency stops and safety functions. 3-position enable device
Emission	
	EMC/EMI shielded

Data and dimensions may be changed without notice.

Fragmento del DataSheet del IRB 4600

Montaje del Robot

Los robots deben montarse sobre una placa cuadrada de 20 mm de espesor firmemente anclada al suelo.

Los anclajes deben quedar asegurados al suelo con una duración mínima del apriete del tornillo igual a 5 años. No debe permitirse grandes vibraciones en la placa de anclaje.

4.2.3 Garras del robot

Las pinzas que equipen las garras del robot serán de la marca SHUNK.

Si el Contratista considera que puede confeccionar las garras con componentes de otra marca y con similar calidad (por ejemplo Zimmer Group), debe primero conseguir la autorización del ingeniero proyectista.

4.2.4 Aparamenta eléctrica

La aparamenta eléctrica que equipe el armario será de la marca ABB.

Si el Contratista considera que puede confeccionar el armario eléctrico con componentes de otra marca y con similar calidad, debe primero conseguir la autorización del ingeniero proyectista.

4.2.5 Automata

El autómata a utilizar será un Bosch Rexroth L40.

La comunicación entre autómatas se realizará a través de un switch Weidmüller.

4.2.6 Aparamenta neumática

La aparamenta neumática de la instalación será de la marca AVENTICS o SMC.

Si el Contratista considera que puede confeccionar la aparamenta neumática con componentes de otra marca y con similar calidad, debe primero conseguir la autorización del ingeniero proyectista.

Los magnéticos, detectores u otros sensores (presostatos) que se utilicen para conocer la posición de los cilindros y pinzas neumáticas de la instalación serán de la marca AVENTICS, SMC o SICK

4.2.7 Banda de salida

La banda de salida será una cinta transportadora de 300 mm de ancho y 950 mm de altura.

No se especifican marcas, pudiendo ser adquirida a cualquier proveedor que entregue una calidad suficiente.

4.2.8 Equipos de seguridad

La seguridad de la instalación es el aspecto más importante de la misma. El Contratista debe velar por cumplir la normativa aplicable que se detalló en el Pliego de Condiciones generales.

Además debe seguir estas instrucciones en cuanto a los equipos a utilizar:

- Las cortinas fotoeléctricas serán de la marca SICK y coincidirán con las detalladas en la memoria. Los relés de seguridad conectados a estas barreras serán también de la marca SICK.
- Los enclavamientos de los resguardos móviles serán enclavamientos con bloqueo condicional. Además añadirán una llave de transferencia. El enclavamiento a montar será el Telemecanique XCS-E.
- Todos los enclavamientos y setas de emergencia que se instalen en la instalación irán conectados a un relé de seguridad PILZ.

4.2.9 Vallado perimetral.

El vallado perimetral a construir viene detallado en el apartado 3 del proyecto: "Planos".

El Contratista debe velar por la aprobación del Ensayo descrito en el ANEXO C de la norma UNE-EN ISO 14120. Deberá realizar el ensayo con una esfera de acero macizo que pese al menos 30 kg y que choque con una velocidad de 2 m/s.

Si el ensayo no es superado debe estudiar posibles soluciones con el ingeniero proyectista. No se aceptará ningún vallado que no supere dicho ensayo.

4.2.10 Situación en planta del equipo

La distribución en planta detallada en el apartado 3, Planos, debe seguirse estrictamente.

Si el Contratista observa que por fuerza mayor debe cambiar la distribución en planta de la instalación podrá hacerlo siempre y cuando reciba la autorización del ingeniero proyectista.

4.2.11 Características del proceso

El tiempo máximo de ciclo será de 11.5 segundos y se velará por su cumplimiento en todo el proyecto y sobre todo en su fase de puesta a punto.

El rendimiento óptimo de la instalación debe ser del 95%. Bajo ningún caso se aceptará la instalación si su rendimiento no supera el 80%.

La instalación deberá estar preparada para fabricar 7000 piezas diarias y trabajar 17 turnos de 8 horas a la semana.

4.3 ESPECIFICACIONES DE EJECUCIÓN

4.3.1 Plazo de entrega del proyecto

El tiempo límite que tiene el contratista para ejecutar la totalidad de los trabajos es de 4 meses desde la emisión oficial del pedido.

Si el contratista estima un retraso en la instalación debe comunicárselo al ingeniero proyectista con un mínimo de 2 semanas de antelación.

4.3.2 Forma de ejecutar los trabajos

La ejecución de los trabajos debe organizarse perfectamente ya que las máquinas a robotizar deben funcionar el mayor número de horas posible, evitando paradas prolongadas durante la semana.

En consecuencia el Contratista debe estar dispuesto a realizar el montaje y puesta a punto de la célula durante los fines de semana. Entre semana, las máquinas deben trabajar normalmente.

El cronograma de ejecución a seguir debe ser el siguiente:

- Semana 1: se instalan cortinas de seguridad, nuevas protecciones y elevadores en las estaciones de descarga de las máquinas existentes, sin modificar su posición en la planta.
Se protegerá la zona abierta de la nueva protección con paneles de metacrilato para evitar riesgos de seguridad para los trabajadores.
- Semana 2: Se mueven a posición final dos máquinas y sus armarios eléctricos (MQ 1 y MQ2). Se conectan en la nueva posición para permitir el trabajo en las máquinas.
- Semana 3: Se mueve a posición final la última máquina (MQ3) y se anclan los robots al suelo. La conexión eléctrica de los mismos puede realizarse entre semana.
- Semana 4: Se pone a punto el funcionamiento del primer robot, entre máquinas 1 y 2.
- Semana 5: Se pone a punto el funcionamiento del segundo robot, entre máquinas 2 y 3. Se prueba la totalidad de la instalación.
- Semana 6: Comienzo de la producción en serie de la célula robotizada.

Estas seis semanas no están incluidas en el plazo de entrega, sino que son añadidas y necesarias para el montaje y puesta a punto.

El Contratista deberá, antes de comenzar esta etapa de ejecución, presentar un plan de fechas detallado que acordará con el ingeniero proyectista.

4.3.3 Trabajos no previstos

El ingeniero proyectista podrá realizar modificaciones de los componentes o formas de ejecución durante la ejecución de la obra, verificando el aumento o disminución de los precios y del plazo de lanzamiento de la célula robotizada.

4.3.4 Maquinaria y herramientas

Las máquinas y demás útiles que sea necesario emplear para la ejecución de las obras reunirán las mejores condiciones para su funcionamiento, y serán cargo del Contratista. El ingeniero proyectista puede ordenar la retirada de las obras de aquellos elementos que no ofrezcan completa confianza. El Contratista reseñará el tipo y características de la maquinaria de que dispone.

4.3.5 Medios auxiliares para el montaje de la instalación

Será obligación del Contratista tener disponibles las reglas, cuerdas, maquinaria de manipulación y demás medios auxiliares de construcción para ser empleados en las obras, los cuales serán retirados por el mismo en cuanto dejen de ser necesarios.

4.3.6 Protecciones personales durante la ejecución

Todo elemento de protección personal se ajustará a las Normas de Homologación pertinentes, siempre que existan en el mercado, y si no, se tendrán en cuenta las consideraciones antes aludidas.

Los medios de protección personal, simultáneos con los colectivos, serán de empleo obligado, siempre que se precisen para eliminar o reducir los riesgos profesionales.

La protección personal, no dispensa en ningún caso de la obligación de emplear los medios preventivos de carácter general, conforme a lo dispuesto por la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

4.4 PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

4.4.1 Condiciones generales

Todos los precios unitarios a los que se refiere el presupuesto de las obras contenidas en este proyecto se entenderá que incluyen siempre el suministro, manipulación y empleo de todos los materiales necesarios para la ejecución de las unidades de obra correspondientes, a menos que explícitamente se excluyan algunos de ellos.

Asimismo se entenderá que todos los precios unitarios comprenden los gastos de maquinaria, mano de obra, elementos, accesorios, transportes, herramientas, gastos generales y toda clase de operaciones, directas o incidentales, necesarias para dejar las unidades de obra terminadas con arreglo a las condiciones especificadas en los artículos de este Pliego de Condiciones.

También queda incluida en el precio la parte proporcional para la realización de ensayos acreditativos de las calidades previstas.

Si existiera alguna excepción a esta norma general deberá estar explícitamente indicada en el Contrato de Adjudicación.

La descripción de las operaciones y materiales necesarios para ejecutar las unidades de obra que figuran en el Pliego de Condiciones del Proyecto no es exhaustiva. Por lo tanto, cualquier operación o material no descrito o relacionado, pero necesario, para ejecutar una unidad de obra, se considera siempre incluido en los precios.

Asimismo, las descripciones que en algunas unidades de obra aparezcan de los materiales y operaciones que se incluyen en el precio, es puramente enunciativa y complementaria para la mejor comprensión del concepto que representa la unidad del proyecto.

4.4.2 Condiciones para fijar precios contradictorios en operaciones no previstas

Si se presentase algún caso excepcional e imprevisto para lo cual sea absolutamente necesaria la fijación de precios contradictorios entre la propiedad y el desarrollador, este precio será establecido con arreglo a lo que prescribe el vigente Pliego de condiciones económicas.

La fijación de precio contradictorio deberá hacerse antes de que se ejecute la operación a que hubiera de ser aplicado, pues si ella se realizase sin que el referido precio haya sido aprobado, se entenderá que el desarrollador se conforma con el que se señale por parte de la dirección del proyecto, sin derecho a reclamación alguna.

3. PRESUPUESTO

5 PRESUPUESTO

5.1 COSTE DE LA INSTALACIÓN

5.1.1 Componentes mecánicos

ELEMENTO	UDS		COSTE UNIDAD	COSTE TOTAL
PROTECCIÓN LATERAL DE MQ.	2	S/ plano	585 €	1.170 €
ENSAMBLAJE ELEVADOR	2	S/ plano	992 €	1.984 €
Placa de amarre	1	S/ plano	625 €	625 €
Soplador SILVENT 209	2	COMERC.	15 €	30 €
Perfil básico 45x45x390	2	COMERC.	17 €	34 €
Cilindro 0822065002	1	COMERC.	257 €	257 €
Cilindro 0822406912	2	COMERC.	23 €	46 €
MESA DE AVERÍAS	1	S/ plano	435 €	435 €
Mesa	1	S/ plano	97 €	97 €
Registro	1	S/ plano	210 €	210 €
Perfil pie 90x90x730	4	COMERC.	25 €	100 €
Pie base con rótula M16x100	4	COMERC.	7 €	28 €
GARRA DE ROBOT 1	1	S/ plano	1.228 €	1.228 €
Soporte	1	S/ plano	238 €	238 €
Pinza Schunk DPG plus 100-1	1	COMERC.	550 €	550 €
Dedo	2	S/ plano	220 €	440 €
GARRA DE ROBOT 2	1	S/ plano	2.713 €	2.713 €
Soporte 2 pinzas	1	S/ plano	325 €	325 €
Pinza Schunk DPG plus 100-1	2	COMERC.	550 €	1.100 €
Dedo	4	S/ plano	220 €	880 €
Eje	2	S/ plano	85 €	170 €
Unión robot	1	S/ plano	238 €	238 €
PROTECCIÓN PERIMETRAL	1	S/ plano	3.900 €	3.900 €
Protección 1	1	S/ plano	850 €	850 €
Protección 2	1	S/ plano	550 €	550 €
Protección 3	1	S/ plano	1.150 €	1.150 €
Puerta 1	1	S/ plano	650 €	650 €
Puerta 2	1	S/ plano	700 €	700 €
TOTAL COMPONENTES MECÁNICOS				11.430 €

Asciende el presente Presupuesto de Componentes Mecánicos a ONCEMIL CUATROCIENTOS TREINTA EUROS (11.430 €).

Santander, Julio 2018

El Alumno

Fdo. Gustavo Matarazzo

5.1.2 Componentes eléctricos y electrónicos

ELEMENTO	UDS		COSTE UNIDAD	COSTE TOTAL
ROBOT ABB IRB 4600 45 kg - 2,05 m	1	COMERC.	34.300 €	34.300 €
ROBOT ABB IRB 4600 40 kg - 2,55 m	1	COMERC.	38.000 €	38.000 €
AUTÓMATA	1	COMERC.	1.401,36 €	1.401,36 €
R911170254 Control	1	COMERC.	1.077,39 €	1.077,39 €
R911319858 Software	1	COMERC.	267,99 €	267,99 €
R911299856 Modulo Interfase	6	COMERC.	9,33 €	55,98 €
CORTINAS FOTOELÉCTRICAS	1	COMERC.	8.801,80 €	8.801,80 €
Cortinas MiniTwin 900 mm R 14	8	COMERC.	676,00 €	5.408,00 €
Conector	8	COMERC.	6,60 €	52,80 €
Espejo de desvío	2	COMERC.	187,00 €	374,00 €
Cortina deTec 1800 mm R 14	2	COMERC.	1.176 €	2.352,00 €
Relé de seguridad UE48	5	COMERC.	123,00 €	615,00 €
SWITCH WEIDMULLER PROFINET	1	COMERC.	368 €	368 €
PROTECCIÓN PUERTAS	3	COMERC.	725,25 €	2.175,75 €
Relé de seguridad PILZ PNOZ	1	COMERC.	167,33 €	167,33 €
Interruptor Telemecanique XCS-E	1	COMERC.	347,92 €	347,92 €
Cierre Telemecanique XCSZ05	1	COMERC.	210 €	210 €
PIAs Y DIFERENCIALES ABB	1	COMERC.	819,88 €	819,88 €
CUADRO ELÉCTRICO				
4 polos - 100 A - Contactores ABB	1	COMERC.	744 €	744 €
FUENTE ALIMENTACIÓN 24 V				
Phoenix 2902993	1	COMERC.	58,69 €	58,69 €
FOTOCÉLULA SICK	10	COMERC.	150,00 €	1.500,00 €
TOTAL COMPONENTES ELÉCTRICOS				86.768 €

Asciende el presente Presupuesto de Componentes Eléctricos a OCHENTA Y SEIS MIL SETECIENTOS SESENTA Y OCHO EUROS (86.768 €).

Santander, Julio 2018

El Alumno

Fdo. Gustavo Matarazzo

5.1.3 Modificaciones de layout

ELEMENTO	UDS		COSTE UNIDAD	COSTE TOTAL
MOVIMIENTO DE MÁQUINAS	1		14.571,10 €	14.571,10 €
Horas montador	120	CONTRATA	21,48 €	2.577,60 €
Horas extra montador	425	CONTRATA	28,22 €	11.993,50 €
ACOMETIDA ELÉCTRICA	1	CONTRATA	5.476,15 €	5.476,15 €
Horas desconexión de máquinas en emplazamiento actual	54	CONTRATA	20,64 €	1.114,56 €
Horas para conexión de máquinas en emplazamiento final (EXTRA por ser fin de semana)	76	CONTRATA	26,29 €	1.998,04 €
Cuadro 10M de cuatro tomas	1	COMERC.	54,76 €	54,76 €
Base fija 3P+N+T 400V, 16A	1	COMERC.	7,60 €	7,60 €
Automático ABB 4x16 A	1	COMERC.	38,50 €	38,50 €
Automático ABB 2x16 A	1	COMERC.	7,94 €	7,94 €
Cable RZ1K 5x35	50	COMERC.	21,12 €	1.056,00 €
Iluminación PHILIPS LED	1	COMERC.	1.198,75 €	1.198,75 €
TOTAL CAMBIO DE LAYOUT				20.047 €

Asciende el presente Presupuesto de las operaciones necesarias para el cambio de lay out a VEINTEMIL CUARENTA Y SIETE EUROS (20.047 €).

Santander, Julio 2018

El Alumno

Fdo. Gustavo Matarazzo

5.1.4 Trabajos de ingeniería y puesta a punto

ELEMENTO	UDS		COSTE UNIDAD	COSTE TOTAL
PROGRAMACIÓN PLC	1	CONTRATA	7.012,50 €	7.012,50 €
Horas de programación	127,5	CONTRATA	55,00 €	7.012,50 €
MONTAJE ELÉCTRICO	1	CONTRATA	2.476,80 €	2.476,80 €
Horas montaje	120	CONTRATA	20,64 €	2.476,80 €
MONTAJE MECÁNICO	1	CONTRATA	1.439,22 €	1.439,22 €
Horas montaje	51	CONTRATA	28,22 €	1.439,22 €
PUESTA A PUNTO EN PLANTA	1	CONTRATA	15.000 €	15.000 €
TOTAL TRABAJOS DE INGENIERÍA Y PUESTA A PUNTO				25.929 €

Asciende el presente Presupuesto de las operaciones de Ingeniería y puesta a punto a VEINTICINCO MIL NOVECIENTOS VEITINUEVE (25.929 €).

Santander, Julio 2018

El Alumno

Fdo. Gustavo Matarazzo

5.1.5 Total de ejecución

ELEMENTO	UDS	COSTE UNIDAD	COSTE TOTAL
COMPONENTES MECÁNICOS			11.430 €
COMPONENTES ELÉCTRICOS			86.768 €
CAMBIO DE LAY OUT			20.047 €
T. INGENIERÍA Y PUESTA A PUNTO			25.929 €
HONORARIO DE INGENIERÍA			13.500 €
TOTAL EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN			157.674 €

Asciende el presente Presupuesto Total de Ejecución a CIENTO CINCUENTA Y SIETE MIL SEISCIENTES SETENTA Y CUATRO EUROS (157.674 €).

Santander, Julio 2018

El Alumno

Fdo. Gustavo Matarazzo

5.2 AMORTIZACIÓN

En este último apartado estudiaremos la rentabilidad de la inversión. Sin embargo antes de nada, revisemos ciertas premisas que ya hemos comentado en el apartado 1.1.3 “Posibilidades de automatización del proceso” de la Memoria:

Partimos del año 0, cuando sólo disponemos de una máquina conexionadora y nos disponemos a realizar la inversión. La inversión a realizar puede ser:

- 1- La compra de dos máquinas conexionadoras y producir con las tres en paralelo. Esto implica la contratación de dos nuevos operarios, que nos costarán 40.000€ cada año. El precio de la máquina conexionadora es de 200.000€.
- 2- La compra de dos máquinas conexionadoras y la automatización de la instalación -que en este proyecto hemos desarrollado. Esto implica una inversión mayor (157.674€ añadidos al precio de las máquinas) y unos costes energéticos y de mantenimiento adicionales; sin embargo vamos ahorrarnos el trabajo de dos operarios, es decir, ahorraremos 80.000€ cada año.

Periodo de evaluación de la inversión

El periodo de evaluación o de explotación de la inversión es la vida útil de nuestro producto. Hemos elegido 6 años; como la vida útil de cualquier componente de un automóvil. Como tras esos 6 años corremos el riesgo de que nuestra instalación quede inservible, vamos a limitar los años de vida útil a sólo seis años.

Además cómo se verá en el análisis posterior, la demanda de estatores irá cayendo a partir del cuarto año, tal y como cabe esperarse de un producto en etapa de madurez y que tras algunos años, pasa a su decadencia.

Costes, ingresos y beneficios

En primer lugar, nos referiremos al coste inicial de la inversión. Veremos en el análisis que hemos dividido el desembolso inicial en dos partes: un primer pago del 40% de la inversión en el Año 0, que supone un adelanto para el contratista o

fabricante y un segundo pago del 60% que se abona en el Año 1, cuando la máquina está operativa y cumple con las condiciones establecidas.

Cabe destacar que también en el Año 1 se producen los primeros ingresos para la compañía.

Los costes operativos de la instalación los hemos dividido en costes de la energía, costes de mantenimiento y costes del material. Los costes del material implican el coste del estator bobinado, sin conectar. Por tanto implica el coste del cobre, el acero de su núcleo, los aislamientos y lo que cuesta las operaciones de bobinado. Este conjunto tiene el precio de 16,75€ por cada estator.

Los ingresos suponen la cantidad por la que vamos a vender el estator conectado. El precio es de 17€. Es decir, que el valor añadido que tiene la operación lo hemos fijado en un 1.4%.

A estos ingresos de 0.25€ por cada estator vendido le restaremos los costes de operación para obtener los beneficios.

Actualización de flujos monetarios

Para que costes y beneficios sean sumables es preciso llevarlos todos ellos a un año base, dado que si no se hace así, no serían éstos rigurosamente comparables (independientemente de que existiese o no inflación). Evidentemente, un flujo monetario hecho efectivo hoy tiene mucho mayor peso que si éste se produce unos años más tarde, aun cuando la inflación fuese nula, gracias a los intereses que ese dinero, si está en manos de la Propiedad, puede producirle.

Si se denomina "i" a la tasa de actualización anual del capital, un flujo monetario de valor "C" producido en el "año 1", adoptará, al referirlo al "año 0", el siguiente valor:

$$C_1 = \frac{C}{1+i}$$

Y si ese flujo "C" se produce en el "año 2", al llevarlo al "año 0" adoptará el valor:

$$C_2 = \frac{C}{(1+i)^2}$$

Así pues, si “Ct” es el flujo en el "año t", el flujo monetario total de la inversión será:

$$\sum_0^T \frac{C_T}{(1+i)^T}$$

Siendo T, el período de evaluación de esa inversión.

La tasa de actualización

En primer lugar debemos aclarar que el proyecto es financiado solo con fondos ajenos, es decir, suponemos que hemos acudido a la financiación bancaria mediante un préstamo. Es este caso la tasa de descuento debe ser el coste de dicho préstamo; es decir, el tipo de interés más los gastos bancarios (TAE).

Comparando diferentes costes efectivos de los préstamos, o TAEs encontramos que bancos como el Deutsche Bank, el ING Direct o Bankia dan préstamos a empresas a un tipo de interés de un 6%, 7% u hasta un 11%.

En consecuencia hemos elegido una tasa de actualización del 8%. A esto es a lo que se le denomina “coste de la deuda”.

Indicadores de rentabilidad

Para este proyecto hemos elegido tres indicadores para estudiar la rentabilidad del mismo.

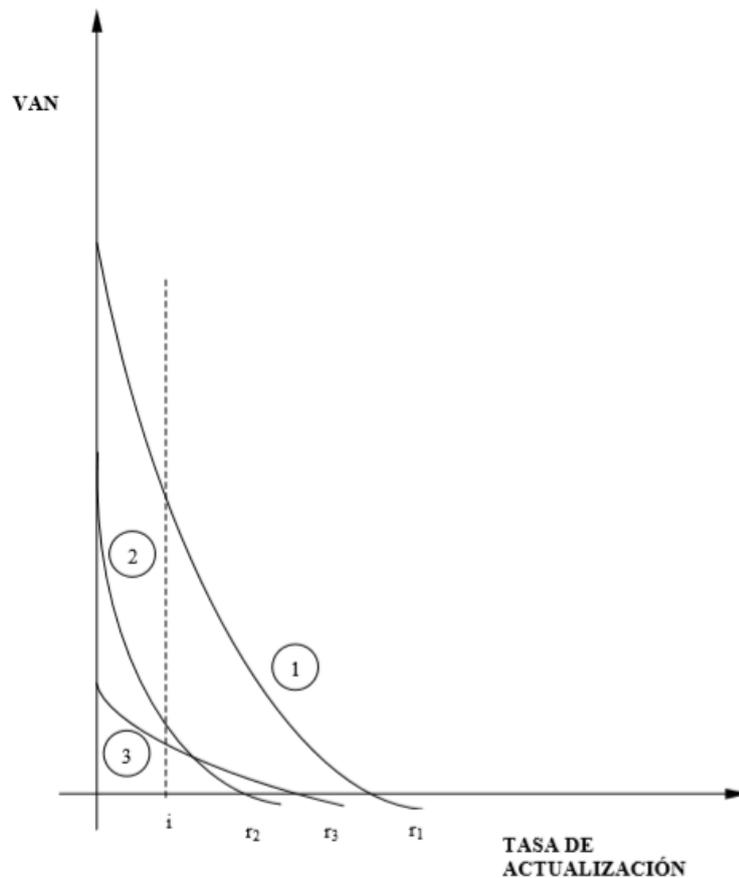
El primero, el VAN: Valor Actualizado Neto que resulta de sumar los flujos monetarios actualizados. Obviamente para que la inversión sea rentable, el VAN debe ser mayor que cero.

El segundo es el TIR: Tasa Interna de Retorno que es aquel valor de la tasa de actualización (supuesta variable e igual al TIR) que hace que el Valor Actualizado Neto del proyecto sea igual a cero.

Mediante este procedimiento se obtiene la rentabilidad interna mínima que puede esperarse de una inversión. Evidentemente, este valor debe de superar a la tasa de actualización del capital (en este caso el coste de nuestra deuda) ya que en caso

contrario será preferible colocar ese dinero en un banco que emprender el proyecto de inversión.

Al comparar dos alternativas de inversión ¿Debemos quedarnos con la que tenga un TIR mayor? En principio es así, pero debemos tener cuidado y comparar también el VAN. Puede darse que una alternativa tenga un TIR mayor que otra, pero el VAN es menor. En este caso daremos más importancia al VAN y nos quedaremos con la que tenga un VAN mayor.



Curvas del Valor Actualizado Neto

El último indicador a utilizar es el PayBack que es aquel valor del período de evaluación que anula el Valor Actualizado Neto. Obviamente este valor de PayBack debe ser menor que el periodo de explotación de la instalación.

Análisis de alternativa 1

AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN							
ALTERNATIVA 1: Se enfrenta el aumento de demanda comprando dos nuevas máquinas, sin automatización.							
Año	0	1	2	3	4	5	6
Coste inversión	160.000 €	240.000 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Costes de mantenimiento	0 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €
Coste de la energía	0 €	2.500 €	2.500 €	2.500 €	2.500 €	2.500 €	2.500 €
Coste de la mano de obra	0 €	120.000 €	120.000 €	120.000 €	120.000 €	120.000 €	120.000 €
Ctd. De estatores a fabricar	0	1395000	1395000	1395000	1227000	1116000	1060200
Coste materiales por estator	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €
Coste materiales totales	0 €	23.366.250 €	23.366.250 €	23.366.250 €	20.552.250 €	18.693.000 €	17.758.350 €
Ingresos por estator	17 €	17 €	17 €	17 €	17 €	17 €	17 €
Ingresos totales	0 €	23.715.000 €	23.715.000 €	23.715.000 €	20.859.000 €	18.972.000 €	18.023.400 €
Costes totales	160.000 €	23.734.750 €	23.494.750 €	23.494.750 €	20.680.750 €	18.821.500 €	17.886.850 €
Ingresos totales	0 €	23.715.000 €	23.715.000 €	23.715.000 €	20.859.000 €	18.972.000 €	18.023.400 €
Beneficios totales	-160.000 €	-19.750 €	220.250 €	220.250 €	178.250 €	150.500 €	136.550 €
Tasa de descuento	8%						
Beneficios actualizados	-160.000 €	-18.287 €	188.829 €	174.842 €	131.019 €	102.428 €	86.050 €
VAN				504.880 €			
TIR				65%			
PayBack	-160.000 €	-178.287 €	10.542 €	185.383 €	316.402 €	418.830 €	504.880 €

Analizando los indicadores principales:

- VAN = 504.880 €
- TIR = 65 %
- PayBack = 1.94 años

Análisis de alternativa 2

AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN							
ALTERNATIVA 2: Se enfrenta el aumento de demanda comprando dos nuevas máquinas, con automatización.							
Año	0	1	2	3	4	5	6
Coste inversión	223.070 €	334.604 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Costes de mantenimiento	0 €	7.500 €	7.500 €	7.500 €	7.500 €	7.500 €	7.500 €
Coste de la energía	0 €	4.500 €	4.500 €	4.500 €	4.500 €	4.500 €	4.500 €
Coste de la mano de obra	0 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €
Ctd. De estatores a fabricar	0	1395000	1395000	1395000	1227000	1116000	1060200
Coste materiales por estator	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €
Coste materiales totales	0 €	23.366.250 €	23.366.250 €	23.366.250 €	20.552.250 €	18.693.000 €	17.758.350 €
Ingresos por estator	17 €	17 €	17 €	17 €	17 €	17 €	17 €
Ingresos totales	0 €	23.715.000 €	23.715.000 €	23.715.000 €	20.859.000 €	18.972.000 €	18.023.400 €
Costes totales	223.070 €	23.752.854 €	23.418.250 €	23.418.250 €	20.604.250 €	18.745.000 €	17.810.350 €
Ingresos totales	0 €	23.715.000 €	23.715.000 €	23.715.000 €	20.859.000 €	18.972.000 €	18.023.400 €
Beneficios totales	-223.070 €	-37.854 €	296.750 €	296.750 €	254.750 €	227.000 €	213.050 €
Tasa de descuento	8%						
Beneficios actualizados	-223.070 €	-35.050 €	254.415 €	235.570 €	187.249 €	154.492 €	134.258 €
VAN					707.864 €		
TIR					63%		
PayBack	-223.070 €	-258.120 €	-3.705 €	231.865 €	419.114 €	573.606 €	707.864 €

Analizando los indicadores principales:

- VAN = 707.864 €
- TIR = 63 %
- PayBack = 2.01 años

Conclusión

Hemos analizado ambas alternativas y observamos que ambas son sustancialmente rentables.

Destaquemos algunas diferencias:

- La alternativa 1, tiene un PayBack un poco más rápido que la segunda, pero esto puede ser natural, ya que el desembolso inicial de esta última es casi 160.000€ mayor. Aun así ambas inversiones tienen un tiempo de recuperación de capital muy interesante, sólo dos años es muy bueno para un ciclo de vida tres veces mayor.
- Respecto al TIR, es la alternativa 1 otra vez la que gana. ¿Debemos elegir esta? No debemos olvidarnos del VAN que será el que tenga la última palabra.
- Por último estudiando el VAN observamos que la alternativa 2, la que implica automatización, es la más conveniente. Supone un beneficio neto de 200.000€ sobre la alternativa 1.

Como conclusión considero que el análisis anterior demuestra la conveniencia económica de acometer una automatización como la que en este proyecto se plantea.

En el análisis observamos como los beneficios de la segunda opción tienen mucha más fuerza una vez recuperado el capital invertido. Además, en caso de que el declive de producto se retarde unos años y, por tanto, el periodo de explotación sea mayor de 6 años, la brecha que abrirá la opción automatizada será más grande y la hará una opción cada vez más rentable.

La automatización del proceso

Para concluir el proyecto y hacer más énfasis en la conveniencia de la automatización vamos a volver a comparar las dos propuestas: la que requiere el trabajo manual de tres operarios y la automatizada, que sólo requiere el trabajo de un único operario; siendo el resto del trabajo realizado por robots.

Entonces supongamos que las máquinas de nuestro proceso ya existen en la planta y simplemente vamos a reposicionarlas y posibilitar la automatización. Esto significa que la inversión inicial que veíamos en el análisis anterior se ve drásticamente recortada porque la propiedad sólo tendrá que comprar el proyecto de la Célula robotizada (157.674 €).

Los ingresos y los gastos que obtendrá la empresa son similares en ambas alternativas. En consecuencia volvamos a presentar el análisis de la amortización:

AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN							
ALTERNATIVA 1: Se enfrenta el aumento de demanda, sin automatización.							
Año	0	1	2	3	4	5	6
Coste inversión	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Costes de mantenimiento	0 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €	6.000 €
Coste de la energía	0 €	2.500 €	2.500 €	2.500 €	2.500 €	2.500 €	2.500 €
Coste de la mano de obra	0 €	120.000 €	120.000 €	120.000 €	120.000 €	120.000 €	120.000 €
Ctd. De estatores a fabricar	0	1395000	1395000	1395000	1227000	1116000	1060200
Coste materiales por estator	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €
Coste materiales totales	0 €	23.366.250 €	23.366.250 €	23.366.250 €	20.552.250 €	18.693.000 €	17.758.350 €
Ingresos por estator	17 €	17 €	17 €	17 €	17 €	17 €	17 €
Ingresos totales	0 €	23.715.000 €	23.715.000 €	23.715.000 €	20.859.000 €	18.972.000 €	18.023.400 €
Costes totales	0 €	23.494.750 €	23.494.750 €	23.494.750 €	20.680.750 €	18.821.500 €	17.886.850 €
Ingresos totales	0 €	23.715.000 €	23.715.000 €	23.715.000 €	20.859.000 €	18.972.000 €	18.023.400 €
Beneficios totales	0 €	220.250 €	220.250 €	220.250 €	178.250 €	150.500 €	136.550 €
Tasa de descuento	8%						
Beneficios actualizados	0 €	203.935 €	188.829 €	174.842 €	131.019 €	102.428 €	86.050 €
VAN				887.102 €			
TIR							
PayBack	0 €	203.935 €	392.764 €	567.606 €	698.625 €	801.052 €	887.102 €

Como vemos el aumento de demanda sigue siendo muy beneficioso para la empresa, y si ya tenemos las máquinas, el VAN que obtenemos es comparativamente más grande que el analizado anteriormente.

Ahora, veamos el análisis de la opción automatizada:

AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN							
ALTERNATIVA 2: Se enfrenta el aumento de demanda con automatización.							
Año	0	1	2	3	4	5	6
Coste inversión	63.070 €	94.604 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
Costes de mantenimiento	0 €	7.500 €	7.500 €	7.500 €	7.500 €	7.500 €	7.500 €
Coste de la energía	0 €	4.500 €	4.500 €	4.500 €	4.500 €	4.500 €	4.500 €
Coste de la mano de obra	0 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €	40.000 €
Ctd. De estatores a fabricar	0	1395000	1395000	1395000	1227000	1116000	1060200
Coste materiales por estator	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €	16,75 €
Coste materiales totales	0 €	23.366.250 €	23.366.250 €	23.366.250 €	20.552.250 €	18.693.000 €	17.758.350 €
Ingresos por estator	17 €	17 €	17 €	17 €	17 €	17 €	17 €
Ingresos totales	0 €	23.715.000 €	23.715.000 €	23.715.000 €	20.859.000 €	18.972.000 €	18.023.400 €
Costes totales	63.070 €	23.512.854 €	23.418.250 €	23.418.250 €	20.604.250 €	18.745.000 €	17.810.350 €
Ingresos totales	0 €	23.715.000 €	23.715.000 €	23.715.000 €	20.859.000 €	18.972.000 €	18.023.400 €
Beneficios totales	-63.070 €	202.146 €	296.750 €	296.750 €	254.750 €	227.000 €	213.050 €
Tasa de descuento	8%						
Beneficios actualizados	-63.070 €	187.172 €	254.415 €	235.570 €	187.249 €	154.492 €	134.258 €
VAN					1.090.086 €		
TIR					353%		
PayBack	-63.070 €	124.102 €	378.518 €	614.087 €	801.336 €	955.829 €	1.090.086 €

Observemos los indicadores obtenidos: un VAN de 1.090.086€ que implica un beneficio 200.000€ mayor para la empresa al cabo de 6 años, comparándolo con la alternativa manual. Además la tasa interna de retorno es altísima y el PayBack de sólo 1 año. La conclusión es clara, la robotización será mucho más rentable que las operaciones manuales.

Por otro lado la automatización tiene muchas otras ventajas indirectas como son la mejora del rendimiento o aprovechamiento de las instalaciones de la planta y la mejora de los tiempos de producción. Aporta flexibilidad a la hora de adaptarse a nuevos productos o a incluso a nuevas tareas (caso típico en robots). Y más importante, contribuye a la estandarización del producto final que favorece a aumentar el reconocimiento en el mercado y a diferenciarse de la competencia.