



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Automatización de una celda de corte por láser para
componentes estructurales de automóvil

Autor/es

Diego Escudero Brun

Director/es

Emilio Julián Royo Vázquez

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

Este documento debe entregarse en la Secretaría de la EINA, dentro del plazo de depósito del TFG/TFM para su evaluación).

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER

D./D^a. Diego Escudero Brun ,en
aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de
septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el
Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,
Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado de Ingeniería Mecánica (Título del Trabajo)
Automatización de una celda de corte por láser para componentes estructurales

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

Zaragoza, 21 de Noviembre de 2019



Fdo: Diego Escudero Brun

Automatización de una celda de corte por láser para componentes estructurales

RESUMEN

El presente proyecto estudia el planteamiento por parte de la empresa MAGNA AUTOMOTIVE SPAIN de eliminar la operación manual de una celda de corte láser 3D. En la empresa se dispone de varias máquinas idénticas y en este trabajo se utilizará una de ellas para, disponiendo una celda integrada a la máquina, automatizar carga, descarga y almacenamiento.

En primer lugar, se presenta la situación actual del proceso de producción y se describe brevemente, para después presentar el producto a fabricar, exponiendo las motivaciones que llevan al planteamiento de la automatización.

A continuación, se realiza un estudio de la demanda y capacidad de la celda para valorar la viabilidad de la automatización analizando económicamente el impacto del proyecto.

Posteriormente se describen todos los elementos diseñados: Utillajes, contenedores de almacenamiento, soportes y elementos auxiliares y se disponen en conjunto para presentar la configuración de la celda. Además, se estudian las problemáticas de diseño de los diferentes elementos, proponiendo soluciones y modificaciones del planteamiento inicial en algunos casos.

También se muestra el programa CN de corte, explicando consideraciones y metodología tomada para su programación dada la geometría de la pieza.

Con todo ello, se pretende dar una posible solución al interés de la empresa, aunque este proyecto no se vaya a poner en ejecución.

ÍNDICE

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN: OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO	8
2. INFORMACIÓN SOBRE EL PRODUCTO Y PROCESO DE FABRICACIÓN	9
3. SITUACIÓN ACTUAL Y MOTIVACIONES.....	11
4. JUSTIFICACIONES.....	13
4.1. ANÁLISIS DE LA DEMANDA.....	13
4.2. CAPACIDAD DE LA CELDA	14
4.3. AHORRO ECONÓMICO DE OPERACIÓN DIRECTA Y AMORTIZACIÓN	16
5. CONFIGURACIÓN DEL PRODUCTO, ÚTILES Y CELDA	17
5.1. CONFIGURACIÓN INICIAL	17
5.2. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO FABRICADO	19
5.3. DESCRIPCIÓN DEL UTILLAJE DE CORTE.....	22
5.3.1. MESA COMÚN	22
5.3.1.1. Amarre a la máquina	23
5.3.1.2. Colocación del utillaje de corte.	23
5.3.2. UTILLAJE DE CORTE	25
5.3.2.1. Bancada	25
5.3.2.1.1. Punto cero:.....	26
5.3.2.1.2. Cilindros de referencia:	26
5.3.2.2. Centrado de la pieza.....	28
5.3.2.3. Posicionamiento de la pieza.....	29
5.3.2.4. Amarre de la pieza.....	31
5.3.2.5. Cobres antiproyecciones	33
5.3.2.6. Detectores de presencia.....	34
5.3.2.7. Vista conjunto del utillaje de corte	35
5.4. DESCRIPCIÓN DE LOS RACKS DE ALMACENAMIENTO.....	36
5.4.1. Estructura	36
5.4.2. Barras separadoras.....	38
5.4.3. Cierres	40
5.4.4. Vista general del rack de almacenamiento	41
5.5. DESCRIPCIÓN DEL UTIL DEL ROBOT	41
5.5.1. Problemáticas de diseño	41
5.5.2. Alternativa elegida	43

5.5.3.	Diseño del útil del robot.....	46
5.5.3.1.	Criterios de diseño respecto al útil de corte.	46
5.5.3.2.	Criterios de diseño respecto a la geometría de la pieza	47
5.5.3.3.	Criterios de diseño respecto al rack de almacenamiento	48
5.6.	CONFIGURACIÓN DE LA CELDA AUTOMATIZADA	50
6.	PROGRAMA DE CORTE	56
7.	ALTERNATIVAS Y MEJORAS PROPUESTAS.....	59
7.1.	PRODUCCIÓN DE AMBAS MANOS EN LA MISMA CELDA	59
7.2.	PRODUCCIÓN DE OTRA REFERENCIA EN LA CELDA AUTOMATIZADA.....	61
8.	CONCLUSIONES	63
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	64
	ANEXO 1: Datos técnicos de la máquina de corte	65
	ANEXO 2: Código CN del programa de corte	67
	ANEXO 3: Datos técnicos garra magnética Schmalz	72
	ANEXO 4: Datos Técnicos Robot KUKA (KR 120 R3100-2).....	76

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Esquema conceptual montantes.....	9
Ilustración 2: Montaje montantes automóvil:	9
Ilustración 3: Máquina de corte	11
Ilustración 4: Celda de corte - operación manual	17
Ilustración 5: Elementos zona de seguridad	19
Ilustración 6: Modelo CAD original y modelo modificado	19
Ilustración 7: Preforma o blank para Hot Forming.....	20
Ilustración 8: Agujeros punzonados.....	20
Ilustración 9: Agujeros RPS.....	21
Ilustración 10: Mesa común - Vista frontal	22
Ilustración 11: Mesa común - Vista trasera	22
Ilustración 12: Detalle centradores mesa común	23
Ilustración 13: Centradores mesa	23
Ilustración 14: Perfil mesa	24
Ilustración 15: Perfil mesa + bancada fixture.....	24
Ilustración 16: Bancada útil de corte	25
Ilustración 18: Punto cero fixture	26
Ilustración 18: Cilindro de referencia.....	26
Ilustración 19: Vista lateral pines centradores.....	28
Ilustración 20: Vista superior pines centradores	28
Ilustración 21: Vista detalle Shims	29
Ilustración 22: Bloques apoyos zona cola	29
Ilustración 23: Bloques apoyos zona cabeza.....	30
Ilustración 24: Bloques apoyos zona central.....	30
Ilustración 25: Esquema desplazamientos bloqueados	31
Ilustración 26: Vista 3D clamps fixture.....	31
Ilustración 27: Vista superior clamps fixture.....	32
Ilustración 28: Detalle Clamping zona cola y zona cabeza	32
Ilustración 29: Detalle Shims Clamps	33
Ilustración 30: Soporte cobre antiproyecciones	34
Ilustración 31: Detectores de presencia de pieza	35
Ilustración 32: Vista completa utillaje de corte	35
Ilustración 33: Estructura rack almacenamiento	36
Ilustración 34: Detalle elementos apiladores.....	37
Ilustración 35: Detalle inserción apilamiento	37
Ilustración 36: Separador de piezas	38
Ilustración 37: Detalle separador de piezas cargado	39
Ilustración 38: Disposición de piezas Rack	39
Ilustración 39: Detalle cierres de seguridad.....	40
Ilustración 40: Rack completo lleno	41
Ilustración 41: Detalles separación piezas	42
Ilustración 42: Posible alternativa cogida piezas	42
Ilustración 43: Detalle constructivo interior garra magnética	43
Ilustración 44: CAD garra magnética.....	45
Ilustración 45: Soportes garras magnéticas	45
Ilustración 46: Útil de corte + útil robot.....	46

Ilustración 47: Detalle problemática pines centradores	47
Ilustración 48: Detalle agarre zona cola	47
Ilustración 49: Detalle agarra zona cabeza y zona central	48
Ilustración 50: Contenedor + útil robot	48
Ilustración 51: Detalle salida rack útil robot	49
Ilustración 52: Lay-Out máquina de corte	50
Ilustración 53: Posicionamiento útil de corte en celda	50
Ilustración 54: Posición robot celda	51
Ilustración 55: Fixture + robot + útil robot	52
Ilustración 56: Esquema rango vertical robot	53
Ilustración 57: Esquema rango robot horizontal	53
Ilustración 58: Disposición contenedores en celda	54
Ilustración 59: Unión estructura - contenedor	54
Ilustración 60: Vista frontal celda completa	55
Ilustración 61: Vista trasera celda completa	55
Ilustración 62: Vista trayectoria programa de corte	56
Ilustración 63: Detalle nivel dinámico agujero RPS	57
Ilustración 64: Detalle ataque pieza	57
Ilustración 65: Hipótesis ocho contenedores y séptimo eje	60
Ilustración 66: Configuración contenedores corte LH	60
Ilustración 67: Configuración contenedores corte RH	61
Ilustración 68: Cambio de contenedor lleno LH	61
Ilustración 69: Acceso celda para cambio útiles	62

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Demanda semanal de cliente	13
Tabla 2: Resumen datos productivos	14
Tabla 3: Ocupación y capacidad RH + LH	15
Tabla 4: Ocupación y capacidad solo LH	15
Tabla 5: Datos técnicos garras magnéticas	44
Tabla 6: Datos técnicos robot KUKA elegido	51

1. INTRODUCCIÓN: OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO

La realización de este Trabajo de fin de grado surge del planteamiento de automatizar la carga y descarga de una máquina de corte láser 3D ya instalada en la empresa MAGNA AUTOMOTIVE SPAIN.

El proyecto toma como punto de partida esta máquina de corte y todos los demás elementos necesarios serán trabajo de autor, de manera que ninguno de ellos se corresponda con alguno ya existente en la empresa. En algunos casos, el trabajo se apoya en algún elemento existente en la empresa, hecho que se anunciará en el apartado correspondiente.

En particular, se procederá a definir los elementos necesarios para realizar el proceso de corte automatizado de un montante B para un automóvil de tamaño medio. El proyecto se centra en el diseño de la geometría de la pieza, los elementos necesarios para realizar la alimentación y descarga automatizada de la máquina de corte y la configuración de la celda de corte con todos los elementos diseñados. Previamente a esto, se estudia la demanda y capacidad de la celda justificando productiva y económicamente la instalación.

Todos los elementos de la célula y su presentación han sido diseñados utilizando el Software CAD 3D “Solid Edge” en su versión educacional.

2. INFORMACIÓN SOBRE EL PRODUCTO Y PROCESO DE FABRICACIÓN

El producto sobre el que se basa el proyecto es un montante tipo B (Genérico) cortado a las medidas que exige el cliente y listo para ensamblar.

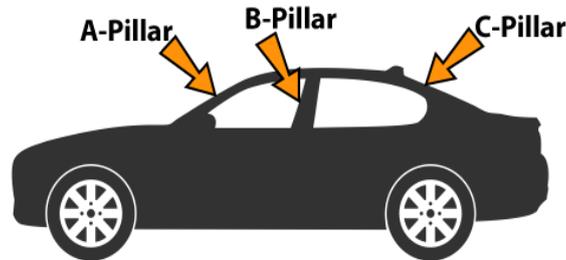


Ilustración 1: Esquema conceptual montantes

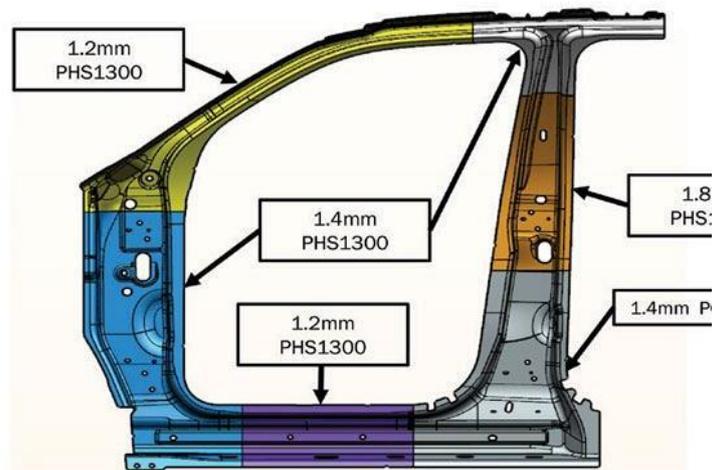
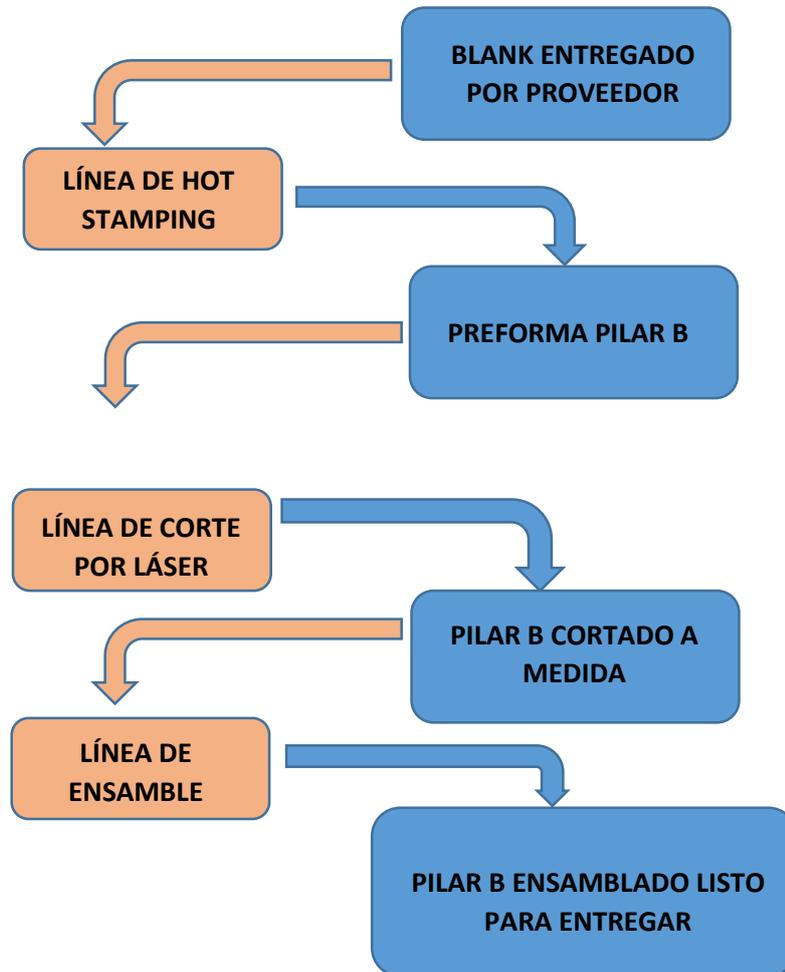


Ilustración 2: Montaje montantes automóvil:

Para la realización de este trabajo, se ha elegido y modificado un montante tipo B genérico. Partiendo de un modelo CAD simple, se ha modificado para obtener una geometría más compleja, de modo que los demás elementos del proyecto fueran más exigentes constructivamente.

Aunque este trabajo se centra en la línea de corte, cabe explicar el proceso productivo en conjunto, pues hay varios elementos procedentes de otros procesos productivos que afectan en el diseño de los útiles de la celda láser. Por otro lado, elementos mecanizados en la línea láser, afectarán en procesos de fabricación posteriores. Por esto, se considera que es importante explicar brevemente el proceso productivo en conjunto.

En primer lugar, se muestra un esquema del proceso de producción mediante un diagrama de bloques:



- Línea Hot-Stamping:** Los blanks entregados por el proveedor se introducen a un horno de rodillos cerámicos donde, a lo largo de su longitud, el blank alcanza una temperatura aproximada de 700°. Es entonces cuando se introduce en la matriz de estampado, se conforma y se enfría mediante un sistema de tuberías que posee el troquel.

Cuando la prensa conforma por completo el blank imprimiendo la forma del troquel, se mantiene la fuerza de pisado durante 9 segundos y mediante conductos de agua, se refrigera la superficie de contacto por conducción, para enfriar rápidamente la pieza conformada y por lo tanto templarla.

Queda pues una pieza conformada de acero de alta resistencia que cumple con las especificaciones necesarias para un chasis de un automóvil.

- **Línea de corte láser:** La pieza estampada tiene creces de material propias del proceso de estampado en caliente. Además, este proceso es muy severo e influyen muchos factores en la geometría final de la pieza, tales como:
 - Temperatura de calentamiento
 - Tiempo de calentamiento
 - Tiempo de enfriamiento
 - Presión
 - Variaciones en la geometría de las cavidades

Por esto es necesario hacer entrar en tolerancias a la pieza mediante el proceso posterior del corte por láser, máquina mucho más precisa, aunque también mucho más lenta y por tanto cara.

En ella se cortan las rebabas del proceso de estampado, y además se cortan varios agujeros que requieren una tolerancia mucho más precisa de la que puede dar la prensa.

- **Línea de ensamble:** Se añaden al montante varios elementos, tales como refuerzos o pletinas mediante soldadura por puntos. Una vez ensamblados, el producto se entrega al cliente para su montaje.

3. SITUACIÓN ACTUAL Y MOTIVACIONES

En la actualidad, en la línea se cortan multitud de componentes diferentes para automoción. Para ello, se utiliza un modelo de máquina común, en la cual se pueden cortar todas las referencias cambiando el utillaje de sujeción.

El modelo de máquina es una TruLaser Cell 8060 L60 del fabricante TRUMPF.



Ilustración 3: Máquina de corte

En el proceso de producción convencional, interviene un operario por cada máquina, el cual realiza la carga y descarga de las piezas y las coge y coloca en el respectivo rack de almacenamiento.

La motivación de este proyecto es conseguir eliminar la operación manual implementando una célula automatizada integrada con la máquina de corte, de modo que la carga, descarga y almacenaje las realice un robot de manera automatizada.

Analizando el proceso productivo de piezas similares a la de este proyecto, se determina que el operario es capaz de satisfacer la demanda de piezas solicitada por la máquina. Por lo tanto, la motivación de este proyecto no es meramente productiva, sino que principalmente se busca un ahorro económico debido a la eliminación de la operación manual.

Además, cabe mencionar el impacto de otras características propias de cualquier línea de montaje y si realmente existe una motivación asociada a ellas.

- **Transporte:** El transporte interno en la propia empresa es muy importante. Si por distintas causas se aumenta el movimiento de racks, podría llegar a ser necesaria la contratación de un empleado para satisfacer esta nueva demanda, por lo que el fin de este proyecto perdería sentido. En este caso, se aumentará ligeramente la demanda logística de los racks de la línea automatizada ya que es necesario modificar el sistema de almacenamiento de las piezas en los racks para que sea posible la carga y descarga mediante robot. Este hecho se explicará detalladamente en apartados siguientes.
- **Esperas:** En la actualidad, cada operario dispone de 20 minutos de pausa, por lo que podría aumentar el tiempo productivo de la celda en esta cantidad.
- **Otros trabajos:** Existen otros trabajos propios del puesto de trabajo. Uno de ellos asociado a la trazabilidad, que consiste en la impresión y colocación de pegatinas con la referencia del rack en cada uno de éstos. Este proceso puede suponer un impacto en el tiempo del proceso productivo que sería eliminado con la automatización de la celda, ya que en este caso se encargaría el empleado logístico de su realización.
- **Defectos y fallos de operación:** En cualquier proceso de producción existen defectos y fallos de operación. De la experiencia de otras celdas de corte se determina que un importante número de defectos en las piezas o incluso colisiones del sistema de mecanizado son ocasionadas por fallos de operación. El fallo más común es el posicionamiento erróneo de la pieza en el utillaje de sujeción. Además, es posible que se desajusten los apoyos o incluso los bloques que los soportan. Con la carga automatizada, se espera reducir la ocurrencia de estos fallos.

Del proceso de corte de montantes tipo B similares en la empresa, establecemos un tiempo aproximado de 55 segundos para el corte de cada referencia (incluyendo 3 segundos del giro de la mesa), valor que utilizaremos en cálculos posteriores.

4. JUSTIFICACIONES

Es necesario justificar cuantitativamente la instalación de una celda automatizada. Se deben analizar características propias del proceso productivo para asegurar la viabilidad del proyecto en términos productivos y económicos.

4.1. ANÁLISIS DE LA DEMANDA

En primer lugar, es necesario analizar la demanda semanal de estas referencias que exige el cliente. La demanda no es fija, incluso se hace cero alguna semana. A continuación, se muestra la demanda de ambas referencias (mano derecha y mano izquierda) para un amplio periodo de tiempo. Estos datos han sido multiplicados por un factor numérico para cumplir exigencias de privacidad y a su vez conservar el sentido de los datos.

	B PILLAR RH	B PILLAR LH	ACUMULADO	ORDEN DEMANDA SEMANAL TOTAL
W8	8774	8774	17547	1
W9	8656	8656	17313	2
W10	8617	8617	17235	3
W11	7985	7985	15970	4
W12	4498	4498	8996	30
W13	6572	6572	13144	7
W14	6576	6576	13151	6
W15	6800	6800	13600	5
W16	3647	3647	7293	32
W17	4607	4607	9214	28
W18	4427	4427	8854	31
W19	5381	5381	10761	26
W20	5557	5557	11115	24
W21	5809	5809	11618	18
W22	6018	6018	12036	11
W23	5879	5879	11757	15
W24	5809	5809	11618	18
W25	6018	6018	12036	11
W26	5879	5879	11757	15
W27	4502	4502	9003	29
W28	4726	4726	9452	27
W29	5619	5619	11237	23
W30	5670	5670	11339	22
W31	5775	5775	11550	20
W32	5687	5687	11373	21
W33	6212	6212	12424	10
W34	5466	5466	10931	25
W35	5967	5967	11934	14
W36	6018	6018	12036	11
W37	5879	5879	11757	15
W38	6460	6460	12920	8
W39	6460	6460	12920	8
PROMEDIO	5998,29	5998,29		

Tabla 1: Demanda semanal de cliente

La columna “ORDEN DEMANDA TOTAL” indica la posición de la cantidad de la demanda semanal respecto a las demás semanas.

4.2. CAPACIDAD DE LA CELDA

Ahora pues, debemos analizar la capacidad de la celda de corte, para comprobar si resultaría conveniente la instalación de la automatización para esta referencia.

En primer lugar, se debe establecer el tiempo real productivo que hay en cada turno de trabajo de 8 horas. Al finalizar el turno de trabajo, se realiza un TPM, “tiempo de mantenimiento total” en su traducción al castellano.

La filosofía TPM tiene como objetivo eliminar las pérdidas en producción debidas al estado de los equipos, o, en otras palabras, mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima productos de la calidad esperada, sin paradas no programadas. Este mantenimiento preventivo tiene una duración estimada de 15 minutos por turno.

Así pues, el tiempo real productivo de la celda por turno es de 7 horas y 45 minutos. Para tratamiento de datos, se pasan los minutos de duración de hexadecimal a centesimal. Por lo que el tiempo productivo será de 7.75 horas o 27900 segundos. Se entiende que la celda trabajará 3 turnos diarios 5 días a la semana, lo que hará un total de 15 turnos semanales.

La filosofía de la empresa establece un OEE (Eficiencia general de los equipos) del 85% para la línea de corte láser. El OEE es una referencia sobre el máximo de producción posible de la celda; es decir, un OEE de 100% se obtendría cuando la celda no parase ni un segundo en su proceso productivo.

Estos datos se recogen en la siguiente tabla:

HORAS/TURNO	SEG/TURNO	TORNOS	OEE
7,75	27900	15	85%

Tabla 2: Resumen datos productivos

El criterio elegido que determinará la viabilidad de la instalación impone el uso cercano al 100% del tiempo productivo de la celda

A continuación, se procede con los cálculos de la capacidad de la celda:

De la tabla de demandas semanales, se calcula una demanda promedio de 5998,29 piezas de cada referencia (3000 coches) y se utilizará en primera instancia este valor para calcular la capacidad de la celda.

	REFERENCIA	DEMANDA SEMANAL	DEMANDA TURNO	T.CICLO (Seg/Pieza)
ESTACION 1	B PILLAR RH	5999	400	55
ESTACION 2	B PILLAR LH	5999	400	55

	T.CICLO (Seg/Pieza)	CAPACIDAD PIEZAS TURNO	OCUPACIÓN MÁQUINA (TURNOS)	CAPACIDAD SEMANAL PIEZAS	CAPACIDAD SEMANAL LÁSER
ESTACION 1	55	216	27,83	3233,9	6467,7
ESTACION 2	55	216	27,83	3233,9	

Tabla 3: Ocupación y capacidad RH + LH

El objetivo de los cálculos es obtener la ocupación media que esta referencia haría sobre la celda. Utilizando la demanda media para los cálculos, resulta una ocupación de máquina de 27,83 turnos semanales. Se determina pues, que la celda no es capaz de satisfacer la demanda exigida por el cliente, pues necesitaría de 12,83 turnos semanales adicionales.

Se plantea entonces la posibilidad de dedicar la celda al corte de una única referencia. Se procede a calcular la ocupación de la máquina en este caso, cortando únicamente la mano izquierda del montante.

Se tiene ahora la mitad de demanda en cada estación de corte, 3000 piezas en cada una.

	REFERENCIA	DEMANDA SEMANAL	DEMANDA TURNO	T.CICLO (Seg/Pieza)
ESTACION 1	B PILLAR LH	3000	200	55
ESTACION 2	B PILLAR LH	3000	200	55

	T.CICLO (Seg/Pieza)	PIEZAS TURNO	OCUPACIÓN MÁQUINA (TURNOS)	CAPACIDAD SEMANAL PIEZAS	CAPACIDAD SEMANAL LÁSER
ESTACION 1	55	216	13,92	3233,9	6467,7
ESTACION 2	55	216	13,92	3233,9	

Tabla 4: Ocupación y capacidad solo LH

Observamos que con esta configuración se satisface la demanda media de montantes B izquierdos.

Dado el propósito académico de este proyecto y puesto que no se trata de una celda que se vaya a instalar en la realidad, de aquí en adelante se estudiará la configuración de la carga y descarga automatizada de montantes B izquierdos, y todos sus componentes estarán diseñados para esta referencia.

Por lo tanto, debería existir otra celda igual para la referencia derecha, en la cual los utillajes y demás elementos serán simétricos a los diseñados en este trabajo. No obstante, en la sección 7, se discutirá este hecho y propondrán alternativas de uso.

Para semanas en las cuales la demanda sea menor se podría acumular material para las semanas de más demanda, aunque en la realidad no es una práctica común pues supone tener mucho inmovilizado además del espacio que ocupa en planta.

También se debe contar con los tiempos necesarios de los mantenimientos preventivos de la celda, que deberán programarse en las semanas de menor demanda.

Para semanas de mayor demanda, la estrategia sería utilizar

4.3. AHORRO ECONÓMICO DE OPERACIÓN DIRECTA Y AMORTIZACIÓN

Como se ha comentado anteriormente, la principal motivación para la implantación de la línea automatizada es el ahorro directo en coste de operación manual.

Podemos establecer que el coste mensual asumido por la empresa por cada operario es de 2.000€, que supone un gasto anual de 24.000€. Si multiplicamos por los 3 turnos diarios de trabajo, esto supone una cifra de 72.000€ anuales.

En reuniones con los integradores que llevarían a cabo la automatización, se planteó que el proyecto podría tener un coste de 180.000€. Este presupuesto incluye la compra de los equipos adicionales necesarios y la integración de estos.

Basándonos en este presupuesto y en el ahorro de mano de obra, podemos calcular el tiempo que se tardaría en amortizar la inversión

$$\frac{180.000 \text{ €}}{72.000 \text{ €/Año}} = 2.5 \text{ Años}$$

Dos años y 6 meses sería el periodo de tiempo que se tardaría en amortizar la inversión. Teniendo en cuenta que los proyectos concedidos por la mayoría de fabricantes son a 5 años, podemos calcular un beneficio total de:

$$72.000 \frac{\text{€}}{\text{año}} \cdot 2,5 \text{ Años} = 180.000 \text{ €}$$

De esta manera queda justificada económicamente la implantación de la celda automatizada.

5. CONFIGURACIÓN DEL PRODUCTO, ÚTILES Y CELDA

En este apartado del proyecto se definirá la configuración de la celda y se explicarán detalladamente todos los componentes estudiados en este trabajo que la forman.

5.1. CONFIGURACIÓN INICIAL

Inicialmente, es necesario explicar el punto de partida del estudio y la situación en la que se encuentra la célula de corte. Actualmente, es una celda totalmente operativa y preparada para trabajar mediante carga y descarga manual. La máquina de corte empleada, ya nombrada anteriormente, es una TruLaser Cell 8060 L60 del fabricante TRUMPF.

A continuación, se muestra un LayOut de la celda en su configuración inicial.

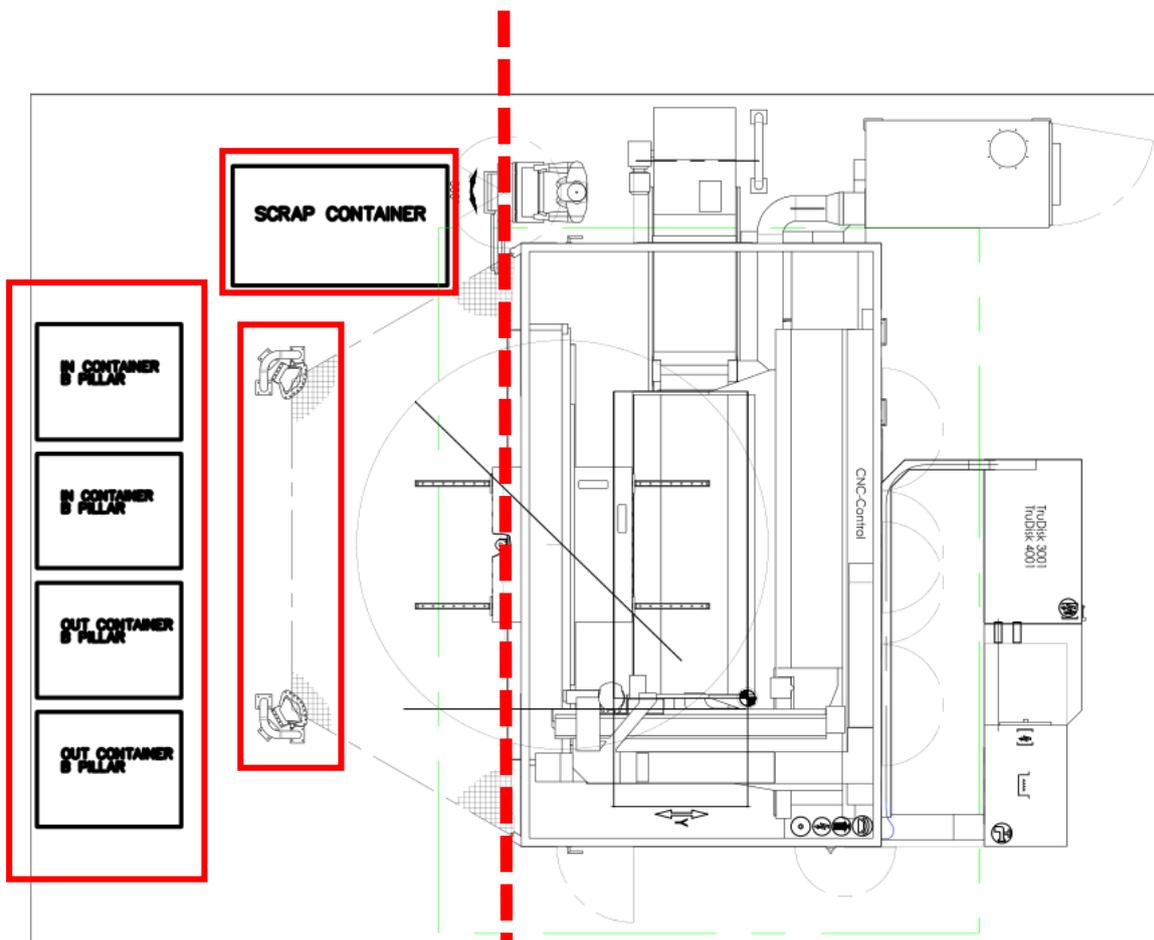


Ilustración 4: Celda de corte - operación manual

En la imagen se ha trazado una línea discontinua vertical que divide la celda en dos partes. En la parte derecha se encuentra la máquina de corte, la cual permanecerá idéntica y no se modificará en el proyecto, es decir, se adaptará la zona izquierda de la imagen, la zona de carga y descarga, para realizar ésta de una manera automatizada.

En la zona de carga y descarga actual, encontramos varios elementos que se explican brevemente a continuación.

- **Contenedores de almacenamiento:** Una pareja de contenedores llenos y otra de vacíos. El motivo de que haya dos contenedores de cada reside en la necesidad de que el operario no dependa de la disponibilidad del operador logístico, y por tanto pueda seguir trabajando cuando un contenedor se haya vaciado o llenado. Estos contenedores, deberán de ser modificados para la alimentación mediante un robot, se explicará detalladamente más adelante.
- **Contenedor de Scrap:** En el proceso de corte se producen trozos sobrantes, denominados chatarra o Scrap. Estos restos de material se originan del proceso de corte de dos elementos diferentes de la pieza: Las creces de material originadas en el proceso de estampado en caliente y el corte de agujeros. El retal producido en el corte de los agujeros es evacuado desde el interior de la máquina, mediante una cinta transportadora que recoge los retales a través de un conveyor y los deposita en un pequeño contenedor situado en el exterior de máquina. Por otro lado, las creces de material no se pueden desalojar mediante esta cinta transportadora y es el operario quien las retira manualmente una vez que la estación de corte ha salido al exterior. Es entonces cuando las deposita en el contenedor de Scrap, situado a un lado de la zona de carga y descarga. En la celda automatizada, el programa de corte deberá cortar el retal en piezas más pequeñas para que puedan ser desalojadas por esta cinta ya que la operación manual no existirá.
- **Barreras de seguridad:** Es necesario asegurar que la zona de giro de la mesa de la máquina está libre. Para ello hay que cerrar el circuito de seguridad mediante un pulsador manual. Se comprueba la zona de seguridad mediante dos elementos que trabajan conjuntamente. Una barrera de seguridad y un escáner de presencia. El escáner de presencia se programa para que observe la zona de seguridad y detecta en todo momento la presencia de cualquier cuerpo desde la altura del suelo hasta una altura aproximada de 50 cm. Por otro lado, la barrera de seguridad proyecta un conjunto de rayos láser sobre un receptor a través de unos espejos, todos estos rayos deben de ser recibidos por su emisor, de manera que, si uno falla, el circuito de seguridad se abre. Esta barrera tiene una altura aproximada de 2 metros. En la célula automatizada estos elementos no existirán ya que la celda estará completamente cerrada.

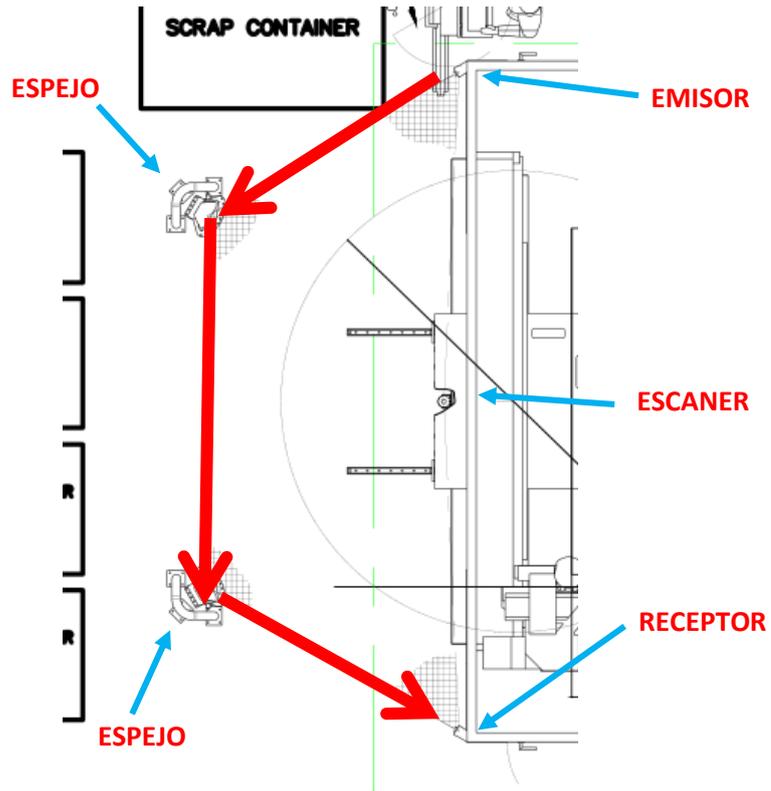


Ilustración 5: Elementos zona de seguridad

5.2. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO FABRICADO

Todos los elementos diseñados en este trabajo se basan en el producto fabricado. En este caso se trata de un montante tipo B para automóvil. Como se explicó anteriormente, se ha utilizado un modelo CAD genérico (imagen izquierda) para generar una pieza más compleja constructivamente (imagen derecha).

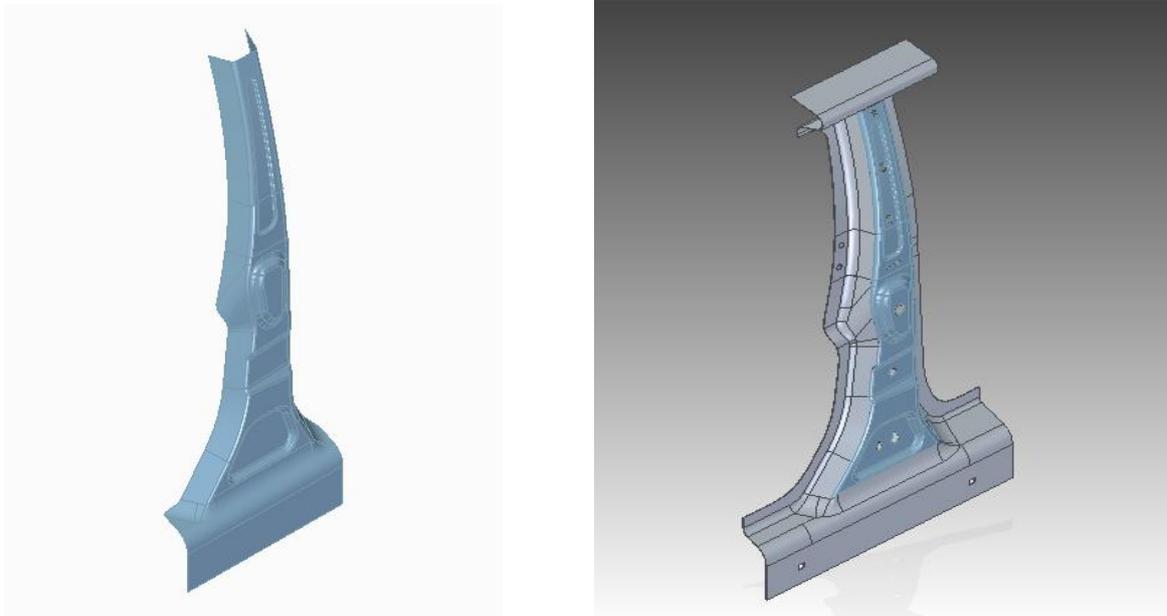


Ilustración 6: Modelo CAD original y modelo modificado

Para la comprensión de algunos elementos de los útiles, resulta necesario explicar algunas características de la pieza y del proceso de fabricación.

El proceso de fabricación comienza con el troquelado de una bobina de acero en una prensa de estampado en frío, donde se obtiene la forma necesaria en 2D para el proceso de Hot Forming. Esta preforma se denomina blank, y se muestra una imagen a continuación.



Ilustración 7: Preforma o blank para Hot Forming

En el proceso de conformado en caliente, se introduce este blank en el troquel, donde se da forma a la pieza y además se realizan dos agujeros mediante un punzón.

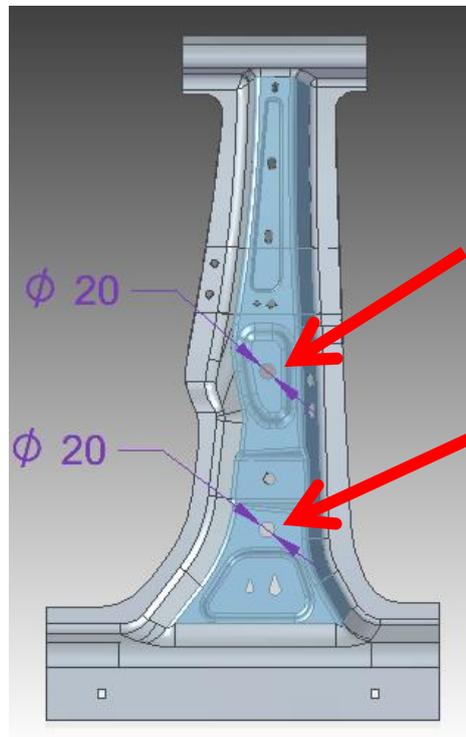


Ilustración 8: Agujeros punzonados

Estos dos agujeros, los utilizaremos en el proceso de corte. Su existencia es muy importante para el proceso de colocación de la pieza en el utillaje de corte. Incluso en una carga manual, su existencia sería importante, pero el hecho de que la carga sea realizada por un robot incrementa aún más su importancia. Esto es debido a que la posición de las piezas en el útil del robot, tras la cogida del contenedor, no será siempre la misma y necesitamos una manera fiable de asegurar la dejada de la pieza.

Para ello, en el utillaje se colocarán dos pines centradores, uno en cada agujero de prensa, de modo que el proceso de dejada admita la variación de posición que existirá entre las sucesivas piezas. Este hecho se explicará más adelante en la descripción constructiva del utillaje.

Además de estos dos agujeros realizados en la prensa, existen dos agujeros que merecen mención adicional. Se trata de agujeros RPS (Reference point system) y se usan para posicionar la pieza en el calibre de medición y en procesos de ensamble posteriores.

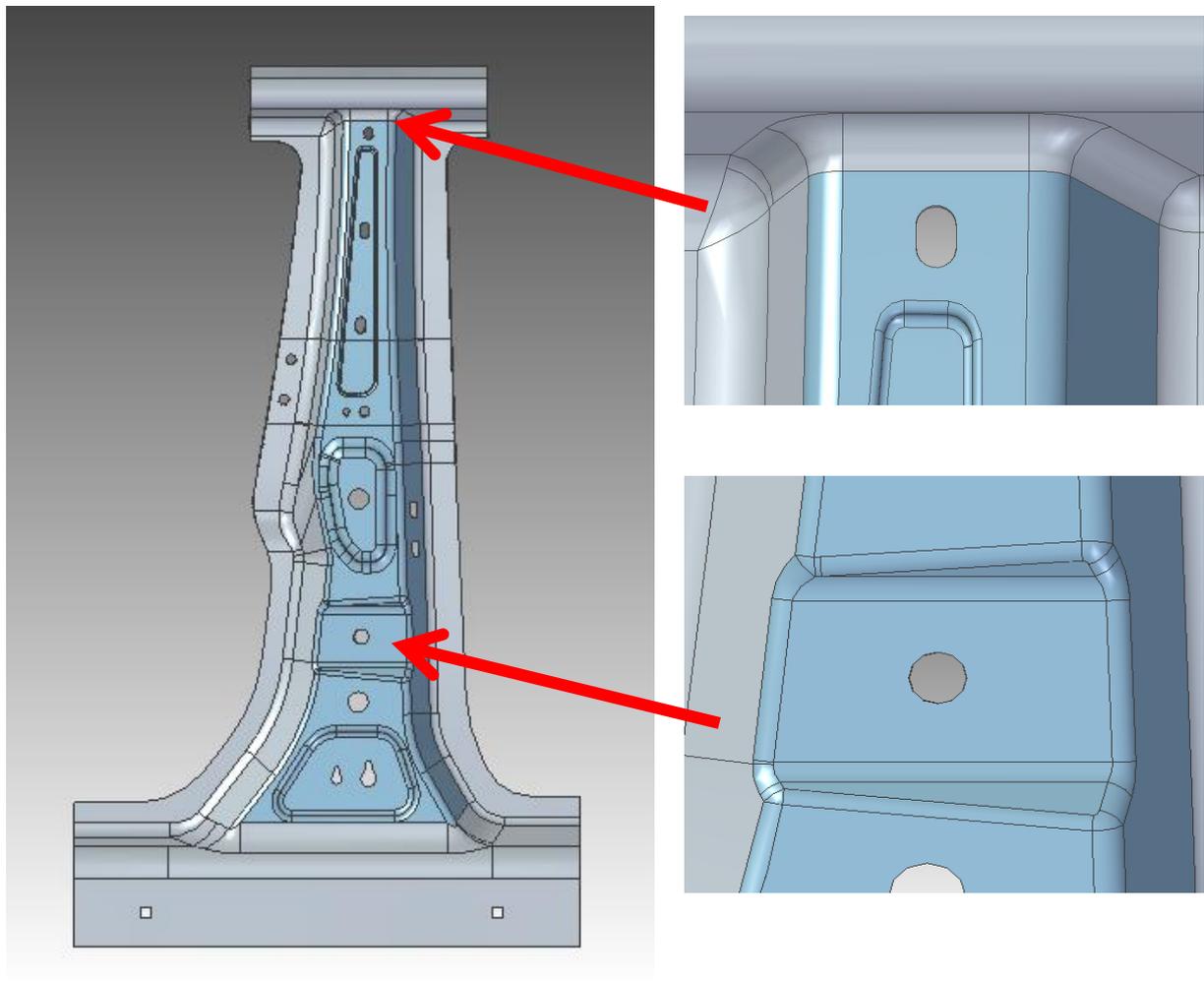


Ilustración 9: Agujeros RPS

Se deberá prestar especial atención al mecanizado de estos agujeros, pues su posición definirá la posición de la pieza en el calibre de medición.

5.3. DESCRIPCIÓN DEL UTILLAJE DE CORTE

En esta sección se explican los criterios utilizados para el diseño del utillaje de corte y los pasos constructivos de éste.

5.3.1. MESA COMÚN

En primer lugar, se parte del CAD de una mesa ya existente en la empresa, común a todas las máquinas láser. Todos los fixtures utilizados en la empresa, de distintas referencias, deben poder acoplarse a esta mesa mencionada. Esta pieza ha sido diseñada a partir de un CAD ya existente y se ha modificado para cumplir criterios de privacidad.

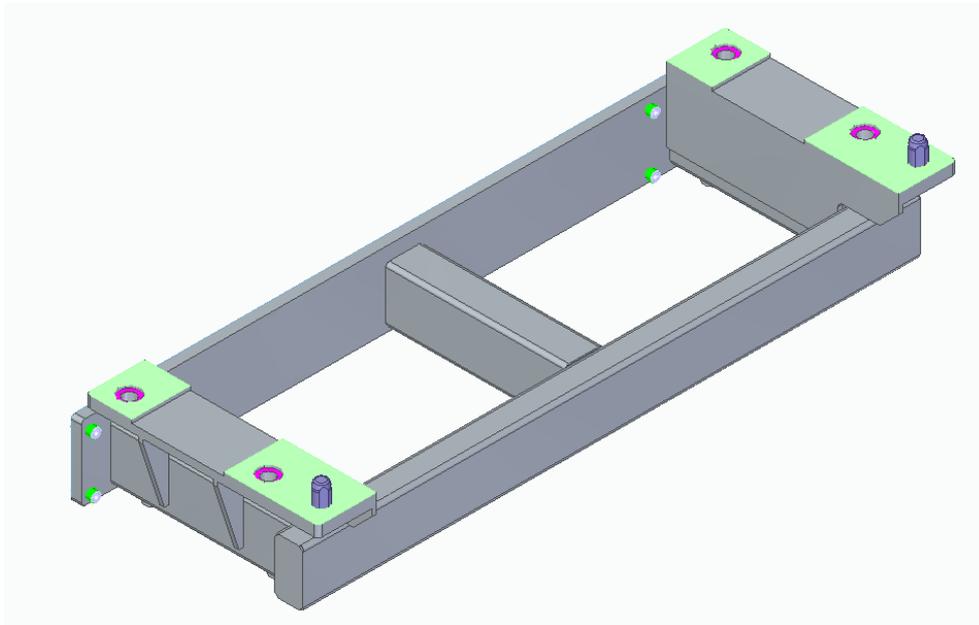


Ilustración 10: Mesa común - Vista frontal

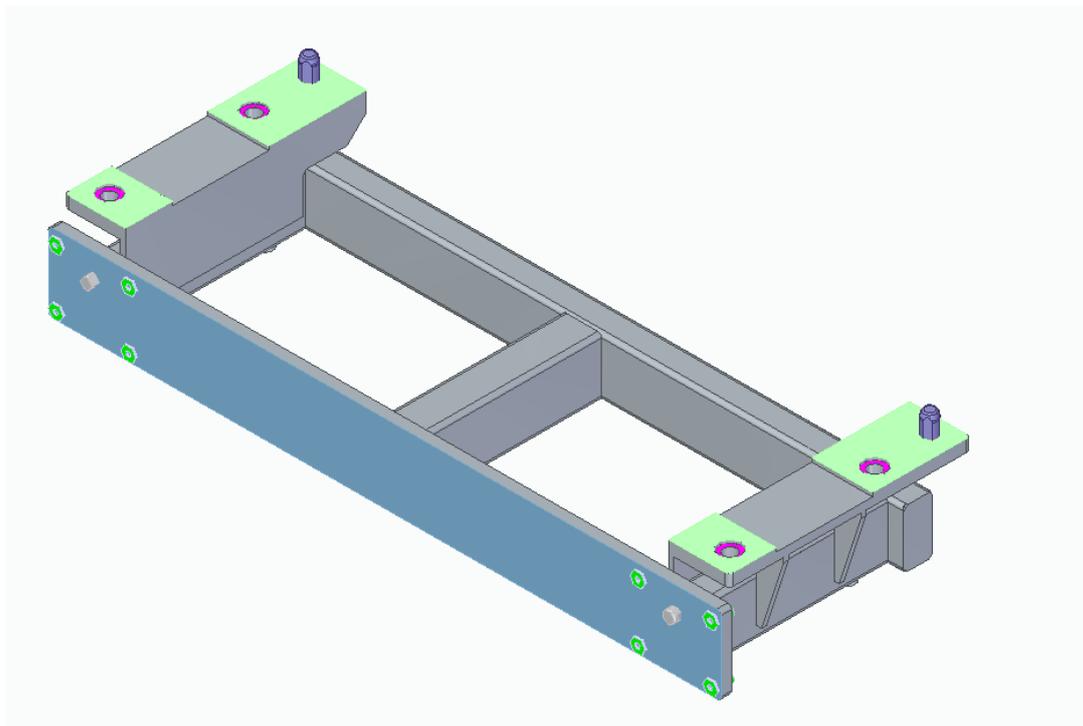


Ilustración 11: Mesa común - Vista trasera

Constructivamente es simple, y a continuación se explican sus elementos característicos:

5.3.1.1. AMARRE A LA MÁQUINA

En primer lugar, mencionar el sistema de amarre a la máquina.

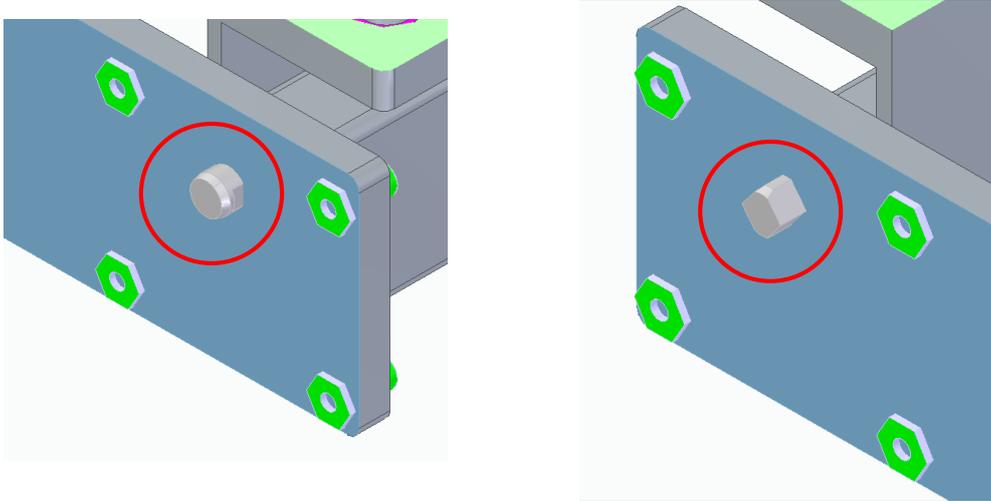


Ilustración 12: Detalle centradores mesa común

Los elementos señalados en un círculo rojo son los centradores de la mesa y aseguran que cuando se coloque en la máquina esté siempre en la misma posición. La diferencia entre ellos es que el de la izquierda es un centrador de 4 vías (restringe 2 grados de libertad); y el centrador de la derecha es un centrador de 2 vías, que restringe únicamente el movimiento vertical. Esto es para asegurar que la mesa pueda ser montada, pues la tolerancia de estos centradores es muy pequeña respecto al alojamiento de la máquina.

Por otro lado, en los agujeros marcados en color verde en la imagen, se colocan tornillos que roscan en la máquina y de esta manera se fija la posición completamente.

5.3.1.2. COLOCACIÓN DEL UTILLAJE DE CORTE.

Una vez fijada completamente la mesa a la máquina, se coloca el utillaje de la referencia que se quiera cortar. Para asegurar de nuevo su fijación la mesa consta de varios elementos.

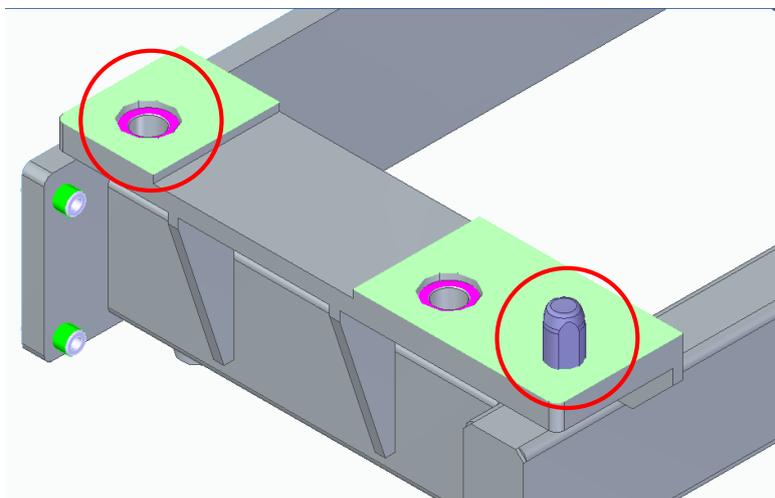


Ilustración 13: Centradores mesa

Por un lado, la mesa tiene fijado un centrador que posiciona inicialmente el utillaje de corte gracias a unos alojamientos que tiene preparados. Es importante que estos alojamientos estén centrados axialmente con los centradores de la mesa.

Para asegurar la fijación del útil de corte, se hace pasar un perno a través del alojamiento del Fixture y el de la mesa. De esta manera se restringen todos los grados de libertad del Fixture respecto a la mesa.

A continuación, se muestran unas imágenes del perfil del conjunto:

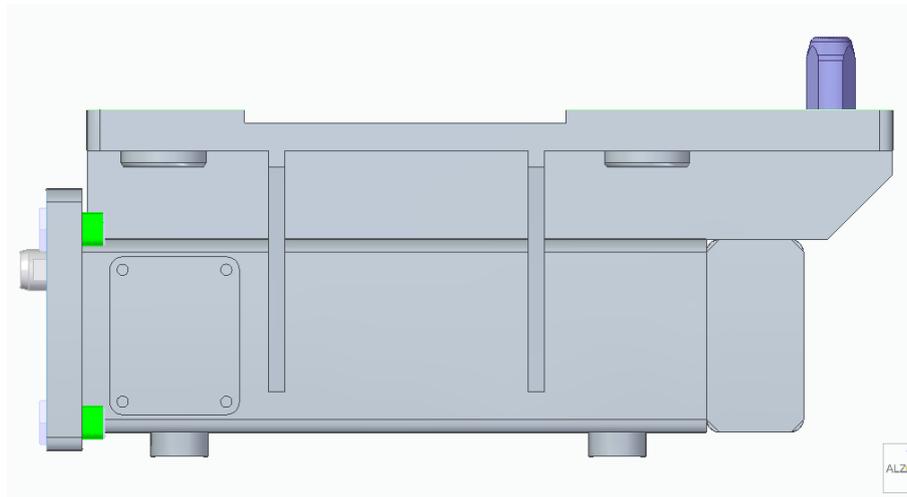


Ilustración 14: Perfil mesa

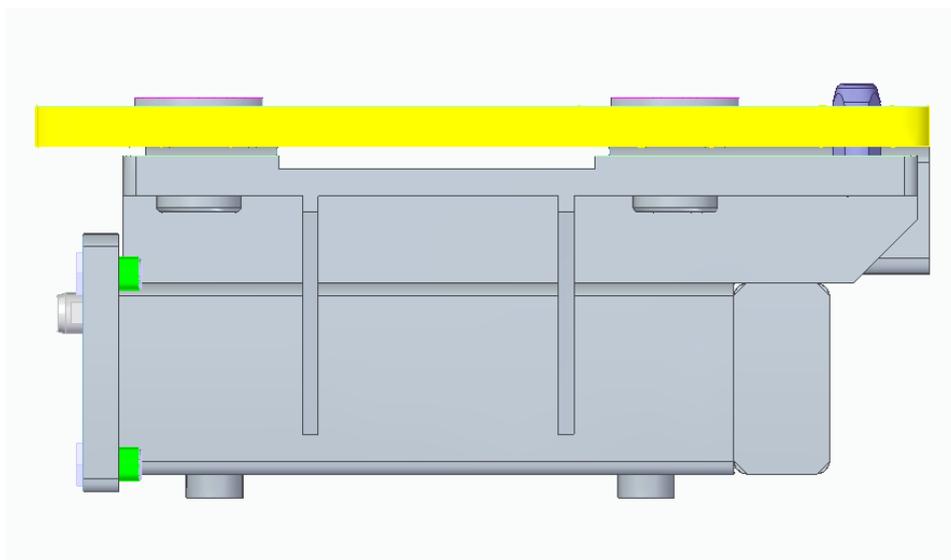


Ilustración 15: Perfil mesa + bancada fixture

5.3.2. UTILLAJE DE CORTE

En este apartado se detalla el diseño del utillaje de corte y todos sus elementos característicos. Estos elementos se describirán en el mismo orden en el que se hayan añadido al conjunto.

5.3.2.1. BANCADA

En primer lugar, se construye la bancada del útil, sobre la cual se colocarán el resto de componentes.

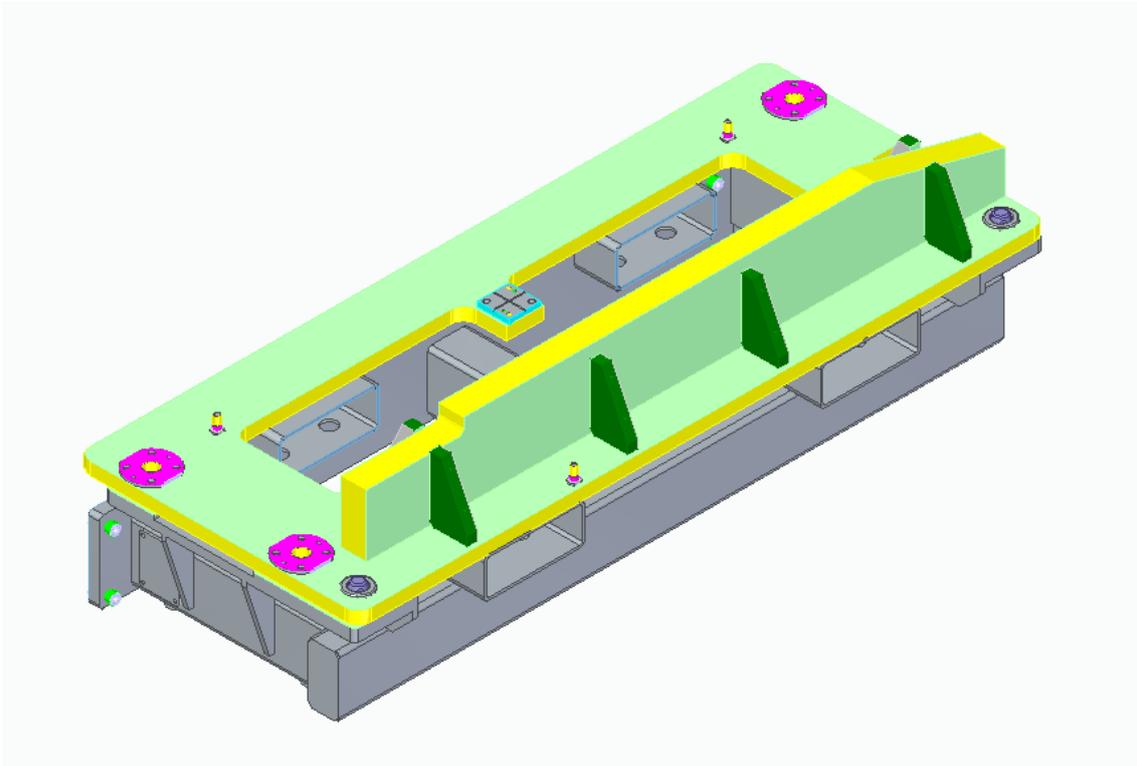


Ilustración 16: Bancada útil de corte

En ella encontramos dos elementos muy importantes. El punto cero del Fixture, que se utilizará en el CAM para realizar el programa de corte; y tres cilindros de referencia, que se utilizarán para la corrección del punto cero. Se explica más detalladamente a continuación:

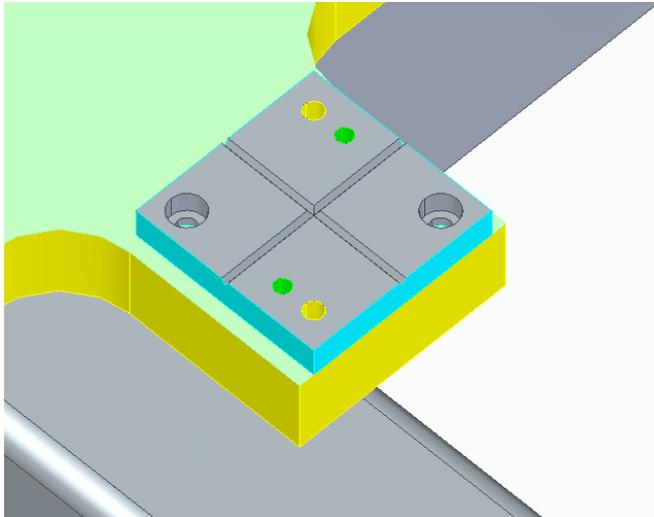


Ilustración 18: Punto cero fixture

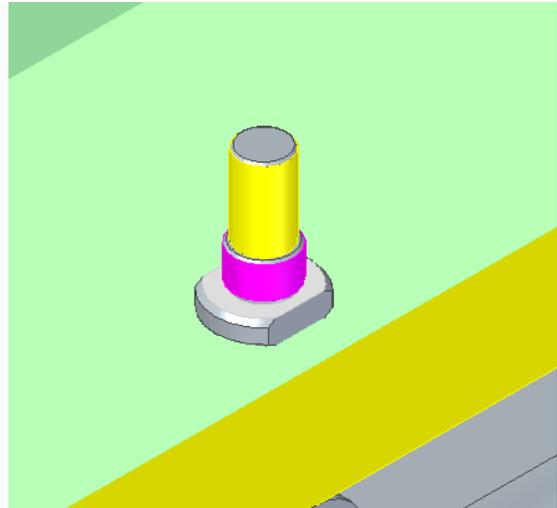


Ilustración 18: Cilindro de referencia

5.3.2.1.1. Punto cero:

Existen dos posibilidades para asignar el punto cero del utillaje al programa CN y por tanto a la máquina.

En primer lugar, se puede obtener mediante “teaching”: Con el mando de la máquina, se puede llevar el cabezal de corte a la posición del punto cero. Entonces se le indica a la máquina que coja las coordenadas de ese punto y que las transfiera a un archivo. Estas coordenadas se llevan al CAM y se introducen como punto cero del programa CN.

También se puede hacer mediante el fichero CAD del útil de corte. Se puede asignar directamente el punto cero mediante una opción y seleccionar el punto deseado.

Queda, en ambas opciones, definir la posición de los ejes “B” y “C”, que representan el giro del eje “Y” y el giro del eje “Z” respectivamente. Estos valores se ajustan a 0º, por defecto y después se corrige la inclinación que pueda haber gracias a los cilindros de referencia, que se explican a continuación.

5.3.2.1.2. Cilindros de referencia:

Es habitual cambiar de referencia en cada máquina láser. Cuando se coloca un utillaje diferente en la máquina de corte, aunque su posición está bastante limitada por los elementos nombrados anteriormente, nunca se encontrará exactamente igual que la vez anterior, y por tanto, la geometría de la pieza cortada variará.

Por lo tanto, sería necesario ajustar el programa de corte manualmente cada vez que se cambiara de referencia, y esto sería productivamente ineficiente, pues no es un proceso ni sencillo ni rápido.

Surge entonces la necesidad de realizar este ajuste de una manera rápida y precisa, pues todo el tiempo invertido en el cambio de utillaje es tiempo no productivo.

Como solución, se incorporan a la bancada del utillaje 3 cilindros colocados en la superficie. Se encuentran posicionados de manera que la posición de dos de los cilindros esté lo más alejada posible del tercero en los ejes "X" e "Y" respectivamente. Esto es, para que puedan definir un plano con 3 puntos y en el proceso de definición del plano se produzca el menor error posible.

Para definir cada punto, se corre un programa especial de medición en la máquina. Además, es necesario colocar en el cabezal de corte una boquilla de medición cilíndrica.

El programa de medición actúa de la siguiente manera:

Como parámetros iniciales, se debe introducir en la máquina el diámetro del cilindro, y se debe colocar la boquilla de medición a 1mm de la superficie plana superior del cilindro.

Una vez iniciado el programa de medición, la boquilla busca el contacto con el lateral del cilindro en 3 en tres puntos diferentes. Con esta medición, se obtiene una circunferencia trazada mediante 3 puntos. La máquina vuelve a realizar este mismo proceso, pero a una altura superior, definiendo otra circunferencia. Uniendo los centros de ambas circunferencias, se obtiene el eje del cilindro.

En la siguiente medición, la boquilla busca el contacto sobre la superficie plana superior y se obtiene el plano perpendicular al eje del cilindro. Ahora, la intersección de este plano con el eje del cilindro define un punto, el cual el control almacena.

Este proceso se realiza con cada uno de los cilindros y por lo tanto se obtienen tres puntos característicos. De esta manera, el control genera un plano con estos tres puntos y queda definida la posición real del utillaje en la máquina de corte.

Ahora en el programa CN, es necesario corregir el punto cero haciendo una llamada a la instrucción "TC_FIXTURE_ACTIVATE("Designación_Archivo_corrección")".

La sintaxis de la cabecera para modificar el punto cero:

- RESET_G54 → Borra de la memoria cualquier valor almacenado en G54
- SET_G54 (X, Y, Z, 0,0,0) → Establece el punto cero tomado inicialmente
- TC_FIXTURE_ACTIVATE("Denominación_Corrección") → Corrige el punto cero a la nueva posición del utillaje de corte
- G54 → Activa el punto cero como referencia para el programa CN.

Cabe mencionar, que para que esta corrección sea posible, se han debido de tomar los valores nominales de cada cilindro previamente. El momento en el que se debe hacer esto es una vez que el programa de corte está ajustado y corta correctamente. Estas mediciones nominales se deben guardar, pues serán las mismas siempre. Lo que hace el control es comparar las medidas tomadas cada vez que se cambia el utillaje de corte con las medidas nominales almacenadas.

5.3.2.2. CENTRADO DE LA PIEZA

El hecho de que este utillaje vaya a ser utilizado en una celda automatizada condiciona parte de sus elementos. Como se ha comentado anteriormente, el hecho de que la carga sea mediante robot, añade complejidad al proceso debido a la variabilidad de la posición de la pieza en cada carga.

Para dar solución a este hecho, se ha decidido incorporar al utillaje dos pines centradores que se alojarán en los dos agujeros realizados en el proceso de estampado.

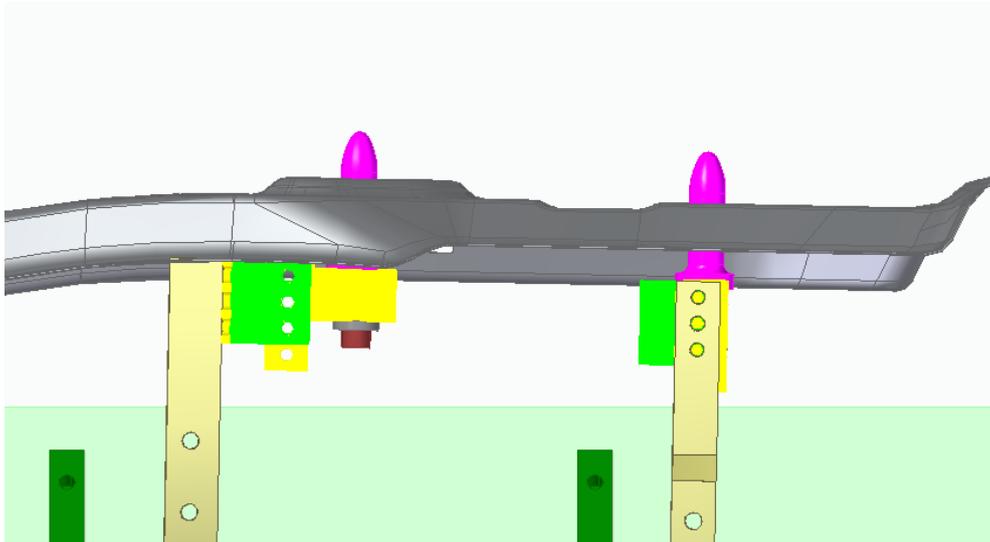


Ilustración 19: Vista lateral pines centradores

La geometría de los pines es en forma de bala. Esto es para que, en el momento de la dejada, exista cierto margen de posicionamiento horizontal pudiendo no estar alienado el eje del alojamiento con el eje del pin centrador. De esta manera, si el robot coloca la pieza desplazada, la geometría de los pines absorberá este error de alineación y será posible la dejada.

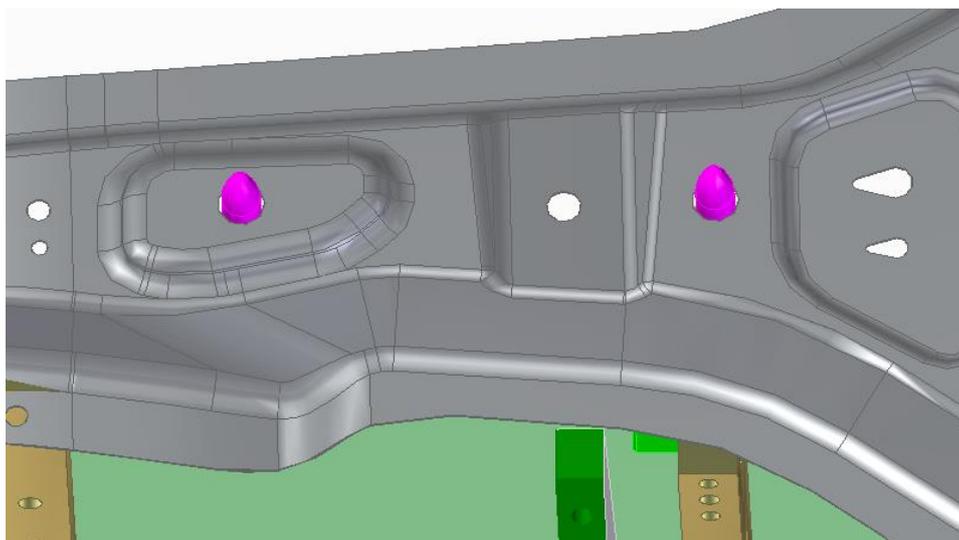


Ilustración 20: Vista superior pines centradores

Es importante mencionar que, como se puede apreciar en la figura anterior, el diámetro de los pines es menor que el de los agujeros, por lo que el fin de estos centradores no es definir la

posición exacta de la pieza. Esto se realizará mediante apoyos, que se explican en el siguiente subapartado.

Es posible que, durante la fabricación, debido a variaciones que pueda sufrir el proceso, fuera necesario modificar la posición de estos pines en el plano horizontal. Para que sea posible se ha incorporado al soporte unas geometrías ortogonales para que entre ellas se puedan colocar unos espaciadores o "Shims". Estos estarán dispuestos de manera que, si aumentamos el número de espaciadores, podamos modificar la posición del pin en ambas direcciones horizontales.

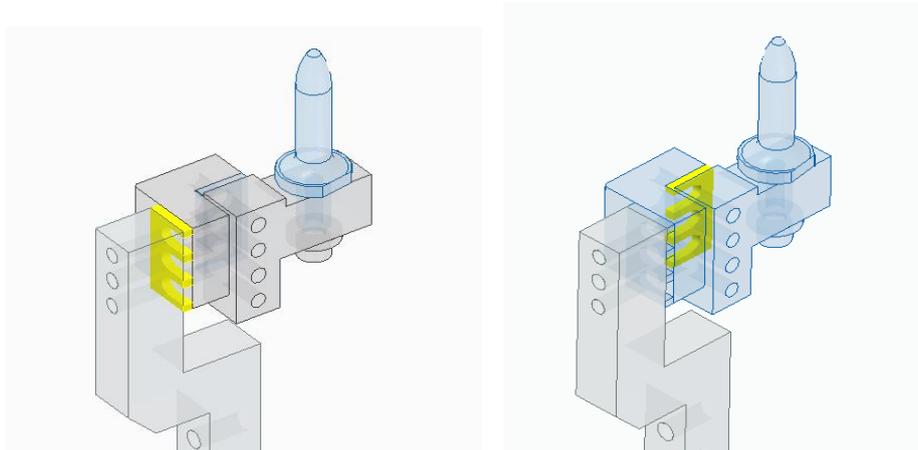


Ilustración 21: Vista detalle Shims

5.3.2.3. POSICIONAMIENTO DE LA PIEZA

El posicionamiento de la pieza se definirá mediante apoyos semiesféricos situados en diversos puntos de la geometría del montante. Estos apoyos o "Nets" deberán definir completamente la posición de la pieza y su ubicación no será aleatoria. En la configuración que se ha elegido, se busca mediante cuatro bloques de apoyos, restringir todos los movimientos de la pieza y se muestra a continuación.

En primer lugar, se colocan dos bloques de apoyo para definir la posición en la vertical del utillaje.

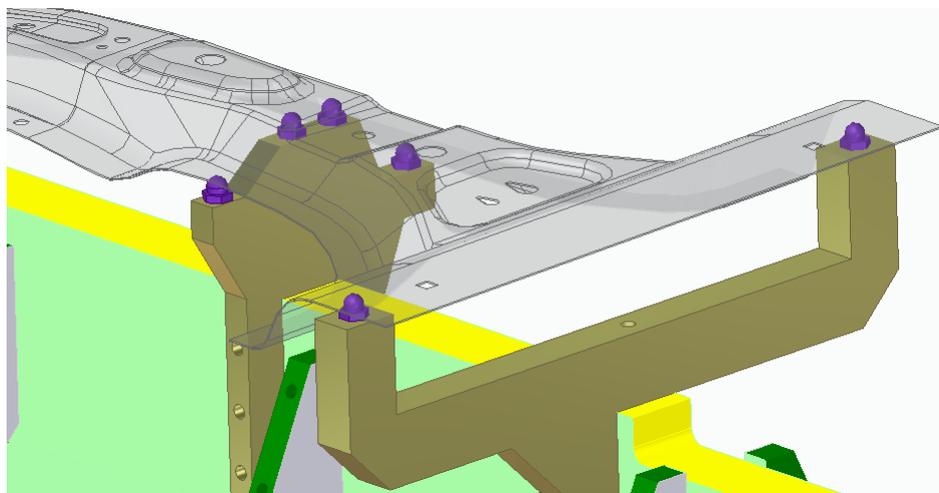


Ilustración 22: Bloques apoyos zona cola

Para restringir el movimiento en la dirección del largo del montante, se han colocado dos grupos de apoyos en la zona de la cabeza que limitan el movimiento en ambos sentidos.

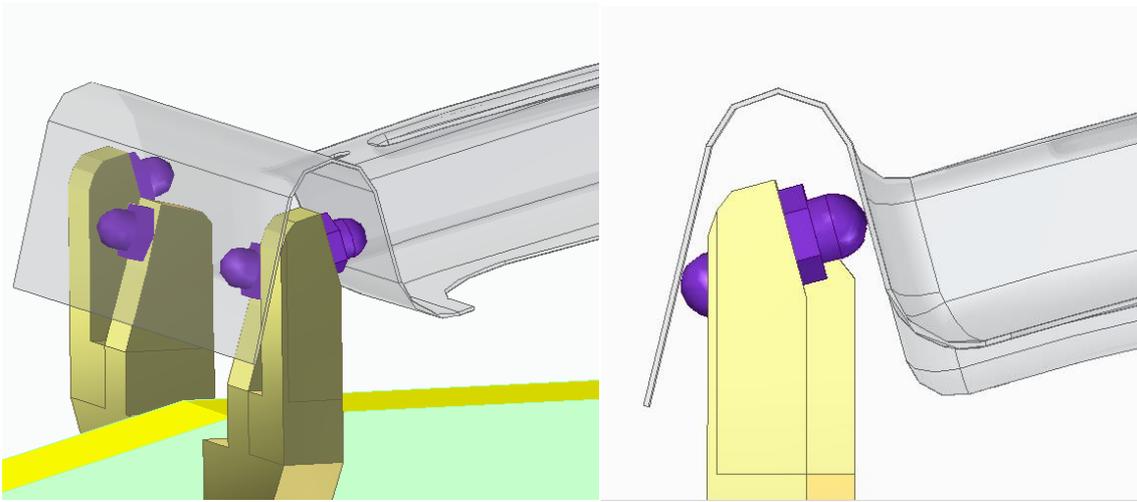


Ilustración 23: Bloques apoyos zona cabeza

Por último, se ha de restringir es movimiento en la dirección del ancho de la pieza. Se realiza mediante el siguiente grupo de apoyos.

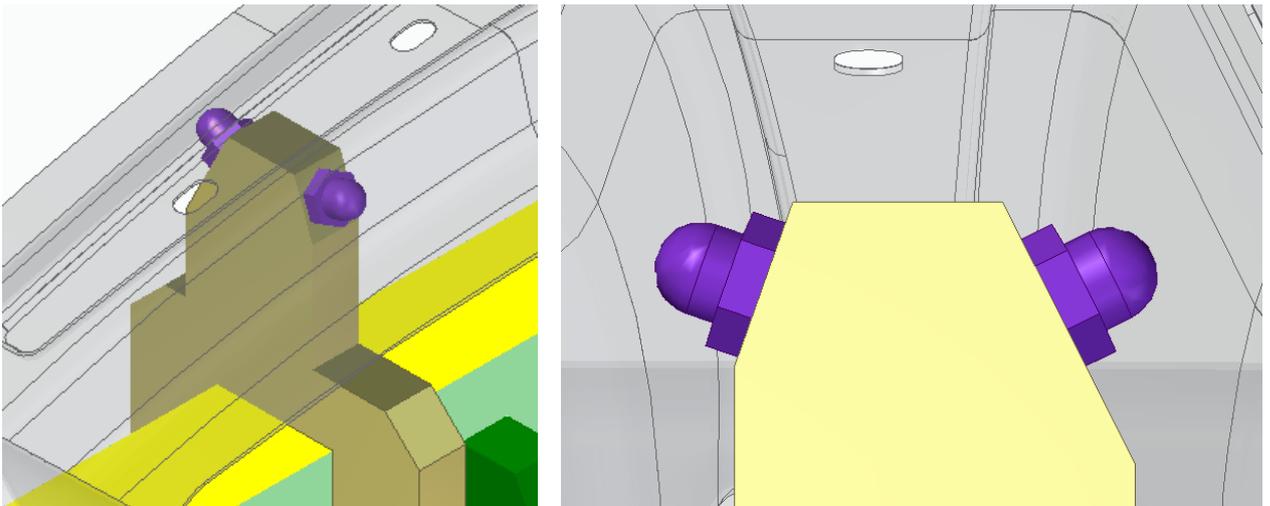


Ilustración 24: Bloques apoyos zona central

De esta manera se restringe completamente el movimiento de la pieza y queda definida su posición. En la siguiente figura se observan las restricciones de cada bloque:

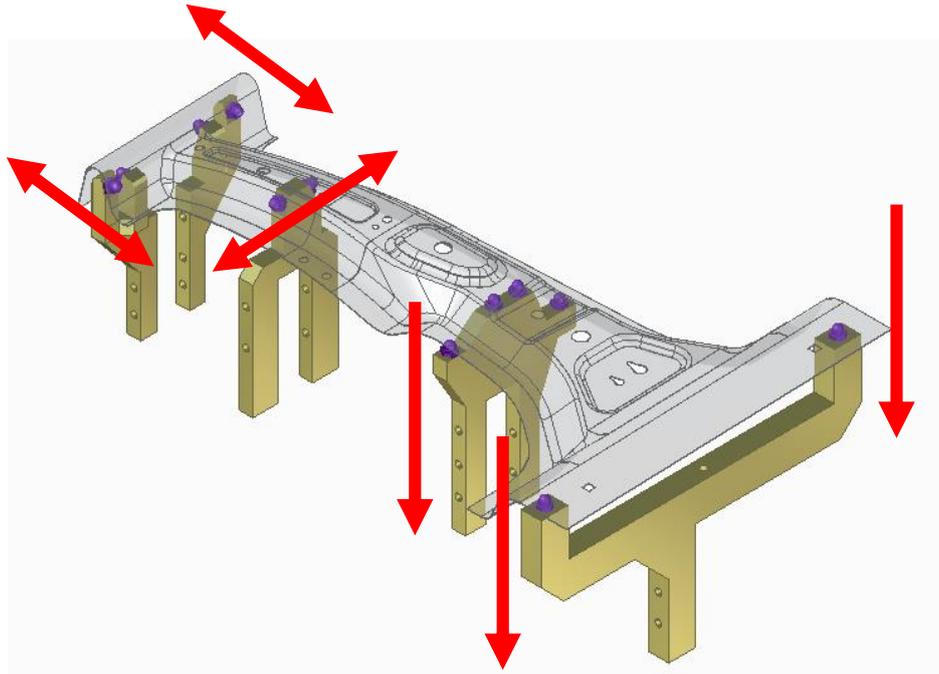


Ilustración 25: Esquema desplazamientos bloqueados

Si nos fijamos el único movimiento posible que tendría la pieza en este momento, sería el vertical hacia arriba. Para que el proceso de corte tenga repetibilidad resulta necesario bloquear este movimiento permitiendo a su vez la carga y descarga de la pieza.

5.3.2.4. AMARRE DE LA PIEZA

Para esto, se añaden unas bridas de sujeción o “clamps” en cuatro puntos de la pieza.

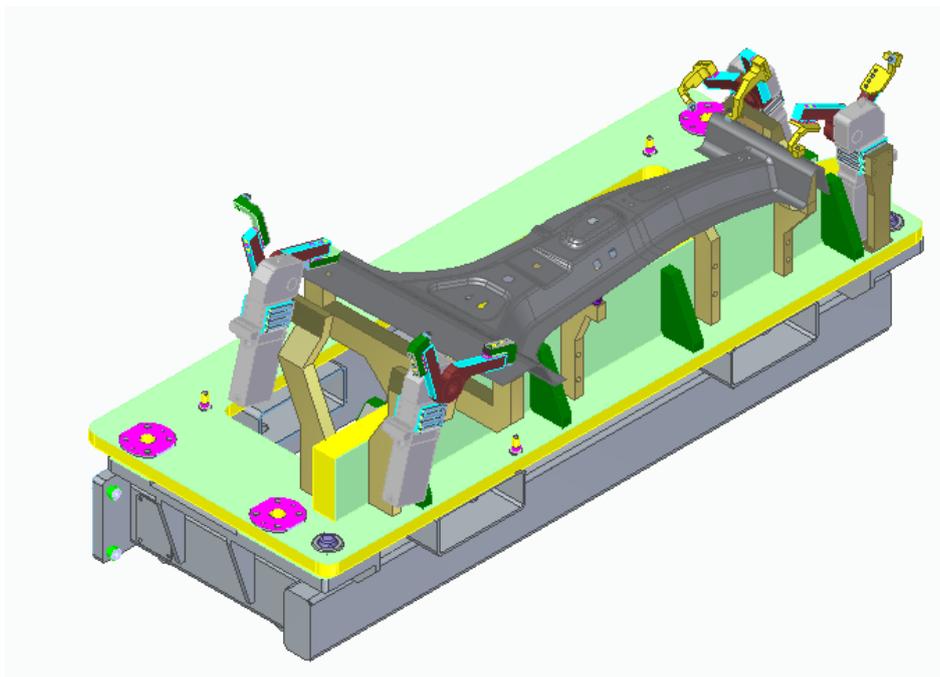


Ilustración 26: Vista 3D clamps fixture

El funcionamiento de estos clamps no debe interferir con la carga y descarga, por lo tanto, cuando estén en la posición de “abierto” deberá ser posible colocar la pieza sin ningún problema:

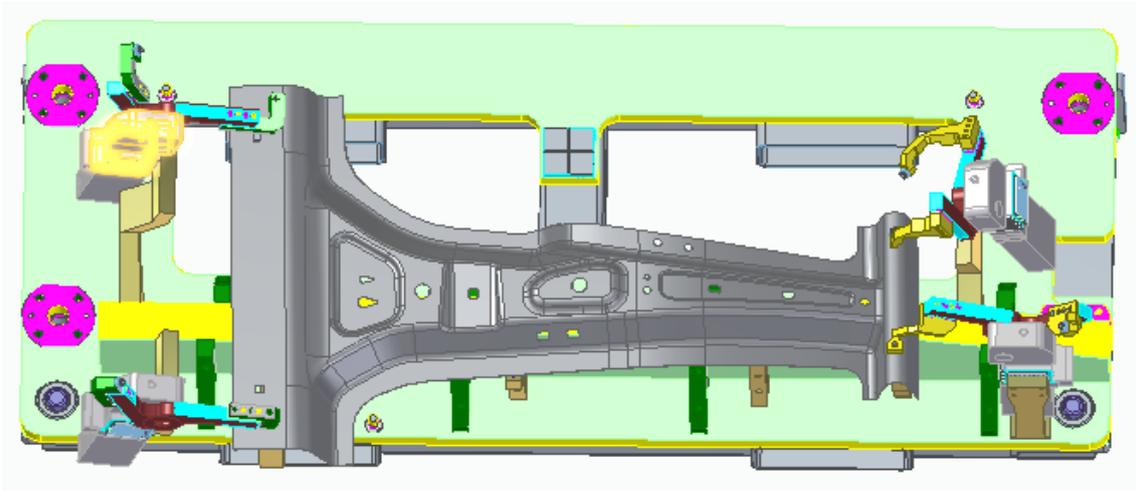


Ilustración 27: Vista superior clamps fixture

Además, se ha buscado que el cierre se ejerza sobre los apoyos del Fixture, o en su defecto, lo más cerca posible de ellos con el objetivo de no deformar la pieza con la fuerza que el clamp pueda hacer en el cierre.

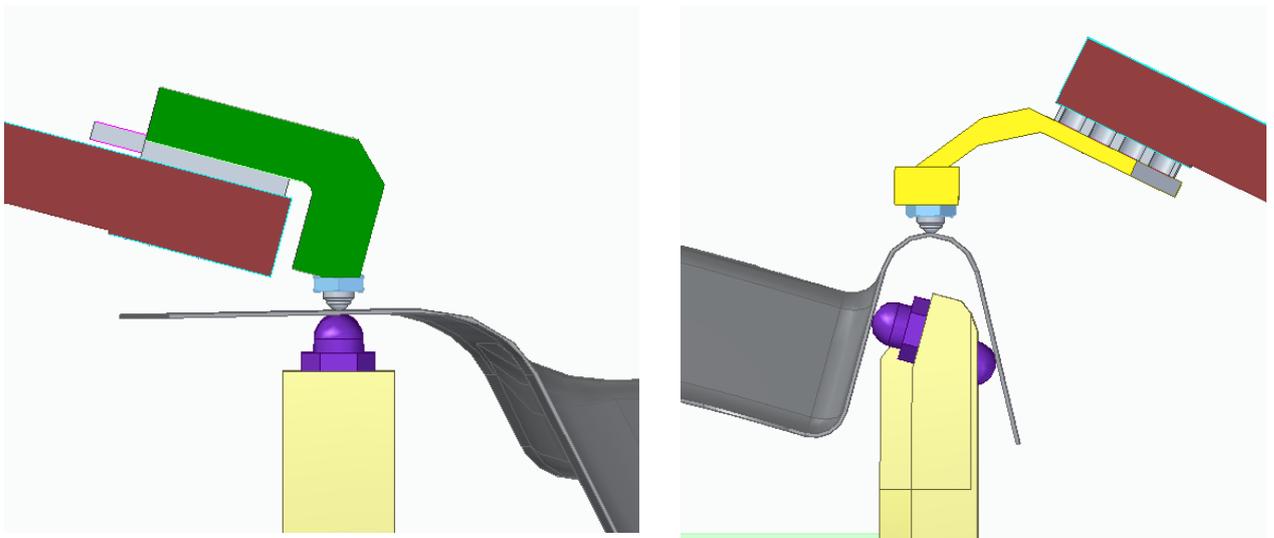


Ilustración 28: Detalle Clamping zona cola y zona cabeza

También resulta necesario poder modificar la posición en la que el clamp ejerce la fuerza de cierre. Para ello se han utilizado de nuevo Shims, colocados en dos posiciones.

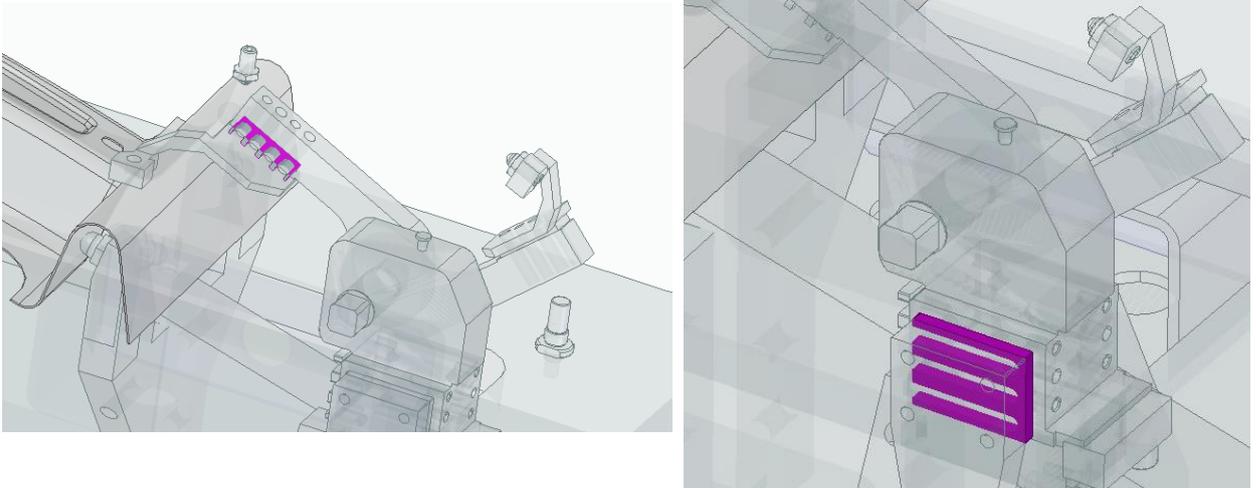


Ilustración 29: Detalle Shims Clamps

De esta manera, añadiendo o retirando shims, se puede regular la posición longitudinal y transversal del brazo del clamp, modificando el punto de cierre.

5.3.2.5. COBRES ANTIPROYECCIONES

En proceso de corte por láser, como en todo proceso de corte, se generan restos de mecanizado. Estos restos se denominan proyecciones, que no es más que pequeños trozos de metal fundido impulsados por el gas de corte. Estos restos, en el momento que se desprenden de la pieza, son proyectados por el gas de corte violentamente en la dirección del cabezal de corte y como se encuentra en estado fundido, se adhiere y solidifica en la superficie que se proyecta.

Este hecho inevitable, va acumulando proyecciones en el utillaje de corte y obligará a parar el mecanizado en algún momento para realizar una limpieza del mismo.

El problema se incrementa cuando debido a la geometría de la pieza, las proyecciones se depositan en otra zona de la misma pieza, solidificándose y alterando la superficie de ésta. Esto suele ocurrir en agujeros laterales o en superficies convexas de poco radio de redondeo.

En la geometría de nuestra pieza, tendremos un problema de proyecciones debido a los agujeros cuadrados laterales, que cuando sean cortados, las proyecciones solidificarán en la superficie interior opuesta.

Para evitarlo, se ha colocado un soporte de acero con una pieza de cobre en la parte superior. Esta pieza de cobre, impedirá que las proyecciones lleguen a la superficie opuesta, rebotándolas y recibiendo ellas mismas.

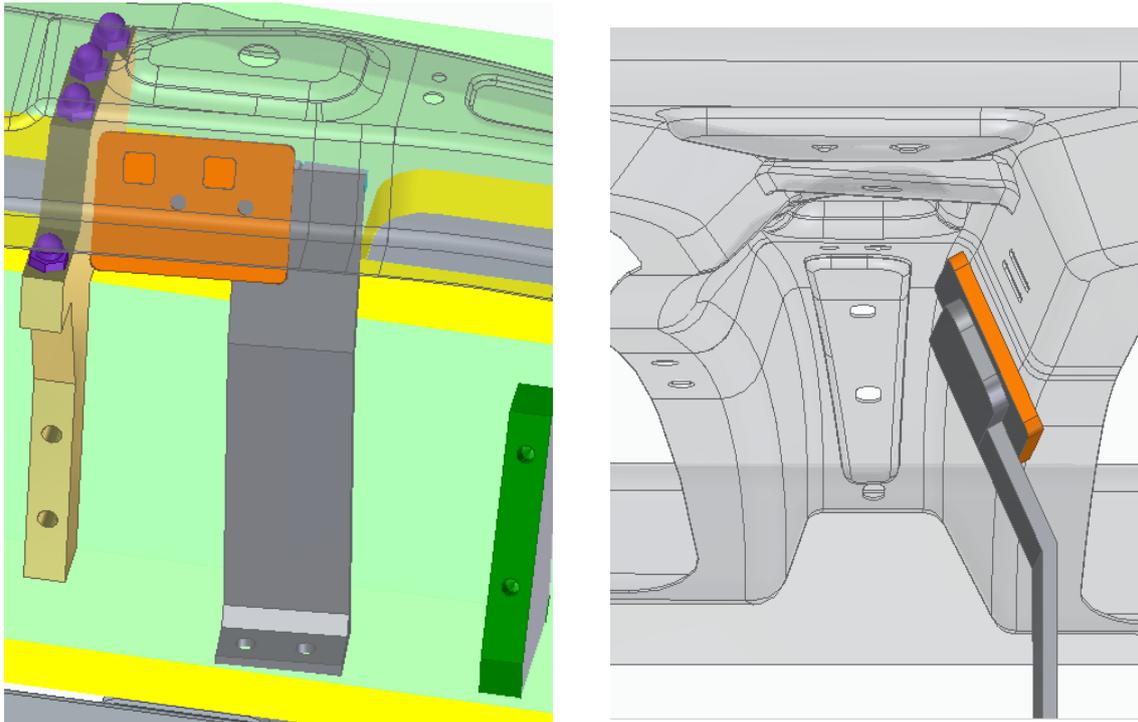


Ilustración 30: Soporte cobre antiproyecciones

El motivo de que la pieza antiproyecciones sea de cobre es debido a que este material absorbe mucho peor la radiación del rayo láser que el acero. Así pues, aun siendo un material mucho más blando, el rayo láser no cortará el material.

Otro hecho a considerar, es la erosión que las proyecciones puedan hacer sobre el material con el paso del tiempo. Las proyecciones desgastarán el cobre y lo perforarán, teniendo que ser sustituido por uno nuevo. Por supuesto, esta sustitución debida a la erosión será mucho posterior y justifica su colocación.

5.3.2.6. DETECTORES DE PRESENCIA

Cuando el robot realiza la dejada de la pieza, la máquina de corte procederá al cambio de estación, metiendo la pieza sin cortar y sacando una pieza ya cortada. Si la dejada del robot no hubiera sido correcta, la máquina de corte procedería de la misma manera, originando un fallo en el mecanizado, ya sea mediante colisión del cabezal de corte con la pieza o en el peor de los casos, cortando la pieza incorrectamente pudiendo llegar al cliente.

Para asegurar que esto no suceda, se han colocado dos detectores inductivos de presencia de pieza. La posición de estos detectores está pensada para que, si la pieza no se encuentra en la posición correcta, sea imposible que manden la señal de OK. Aun así, será necesario un ajuste posterior en altura que deberá realizarse a pie de máquina, ya que dependerá del alcance del detector.

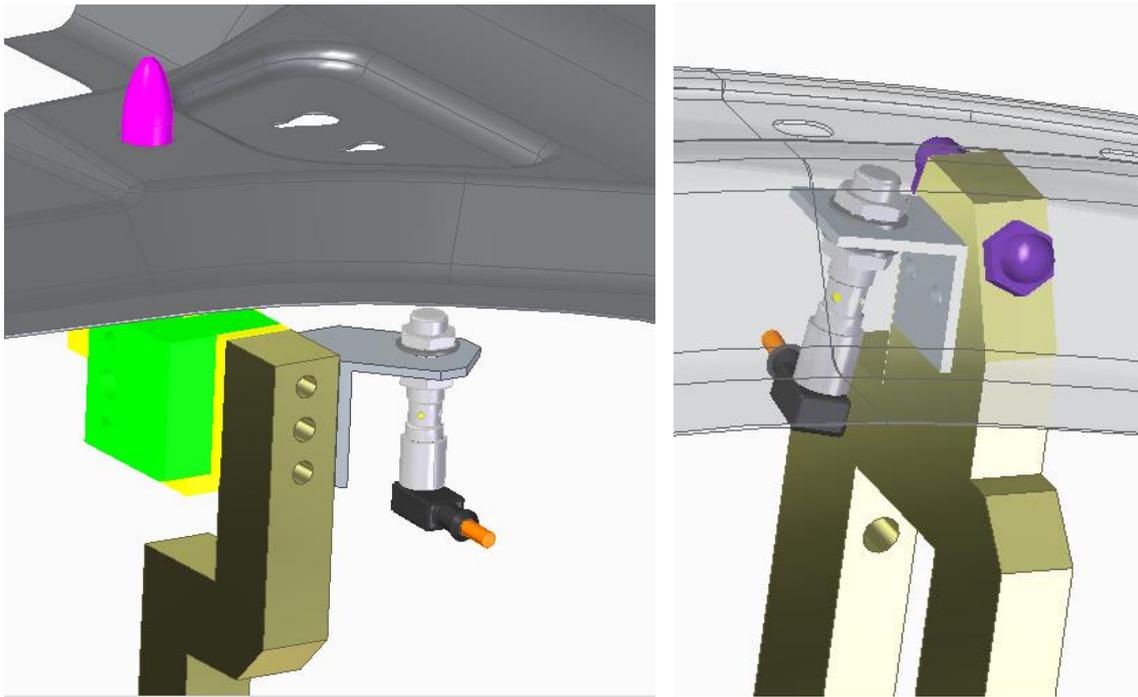


Ilustración 31: Detectores de presencia de pieza

Para estos usos, es muy recomendable ajustar el detector en su máximo rango de alcance (con cierta tolerancia), para que se asegure totalmente que la pieza está en posición.

5.3.2.7. VISTA CONJUNTO DEL UTILLAJE DE CORTE

A continuación, se muestra una figura con todos los elementos del utillaje de corte:

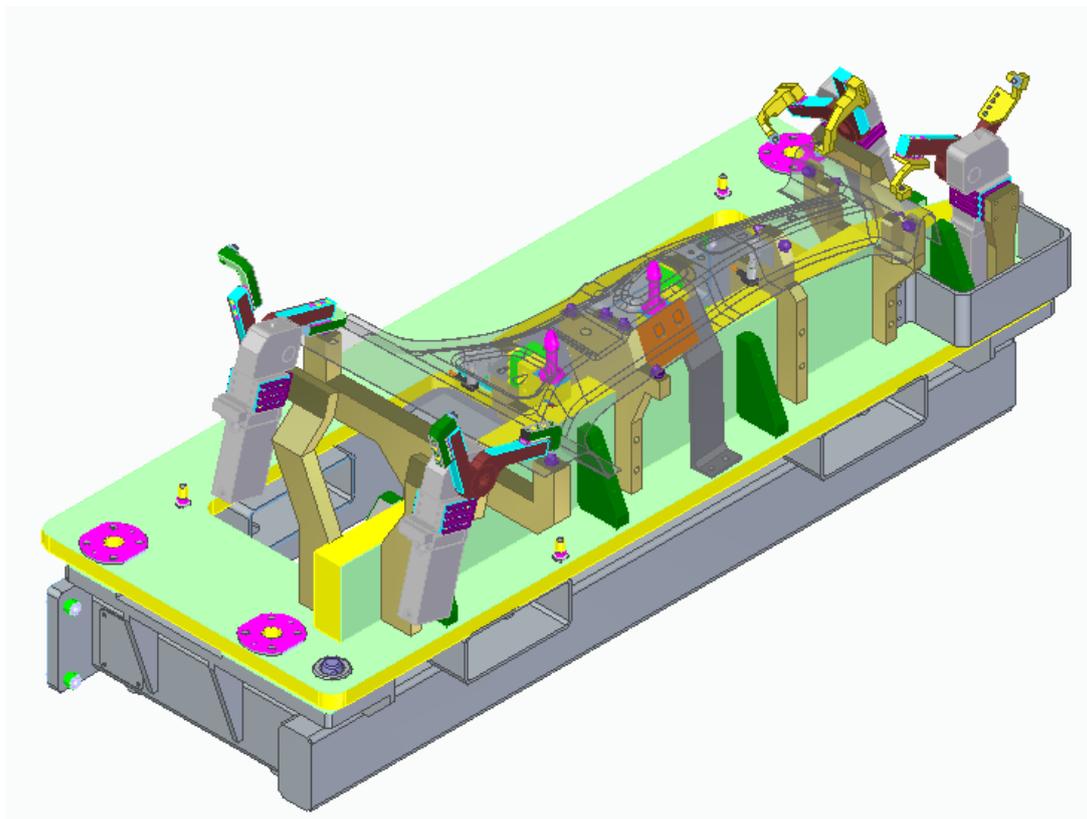


Ilustración 32: Vista completa utillaje de corte

5.4. DESCRIPCIÓN DE LOS RACKS DE ALMACENAMIENTO

La celda de corte debe ser alimentada permanentemente de piezas para trabajar. A su vez, las piezas ya cortadas, deben de ser almacenadas para dejar libre el utillaje del robot y poder realizar una nueva carga.

Para satisfacer la carga y descarga de piezas, se ha diseñado un modelo de rack de almacenamiento. En él, se han diseñado componentes específicos para trabajar en una celda automatizada. Se explican a continuación las características más importantes.

5.4.1. ESTRUCTURA



Ilustración 33: Estructura rack almacenamiento

En primer lugar, se diseña la estructura del rack. En ella encontramos elementos para facilitar el transporte y almacenaje.

Las piezas coloreadas en azul se han añadido a la estructura para facilitar el transporte en carretilla elevadora, de manera que el operador logístico de la línea introduzca las uñas de la carretilla a través de estas piezas. Añadiendo estos elementos evitamos que el contenedor pueda desplazarse en dirección transversal y evitamos posibles vuelcos de este.

También se ha proporcionado una forma característica a las terminaciones de las barras que apoyan en el suelo.

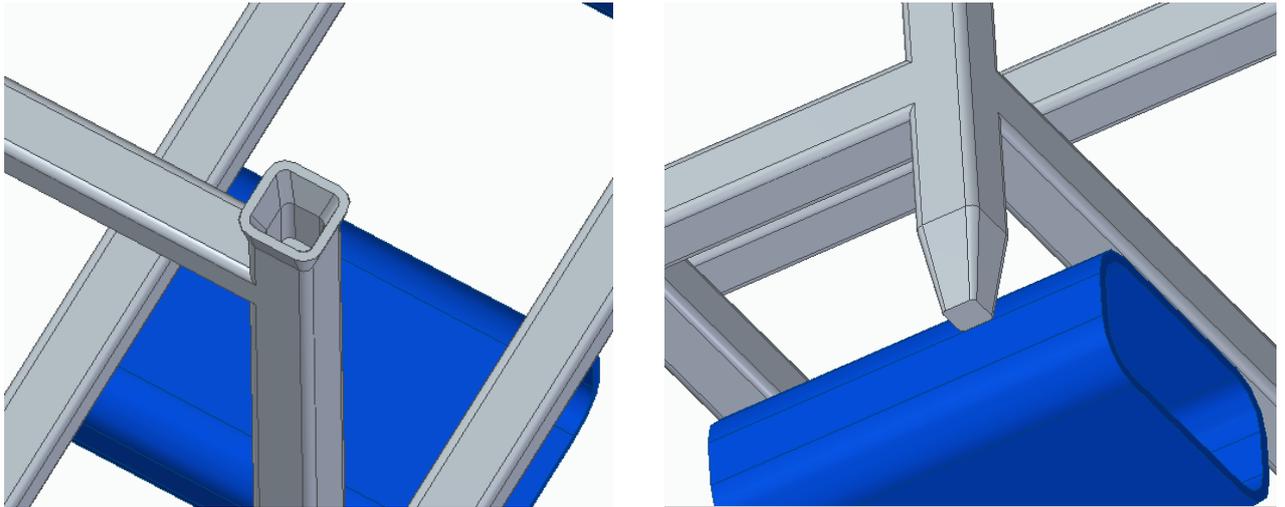


Ilustración 34: Detalle elementos apiladores

Estas formas encajan macho – hembra, y serán muy útiles para el almacenaje de los contenedores cuando estén fuera de la línea, ya sea cuando estén llenos o vacíos. El operador logístico introducirá la pata del contenedor en el alojamiento de otro contenedor para facilitar el almacenamiento en alturas.

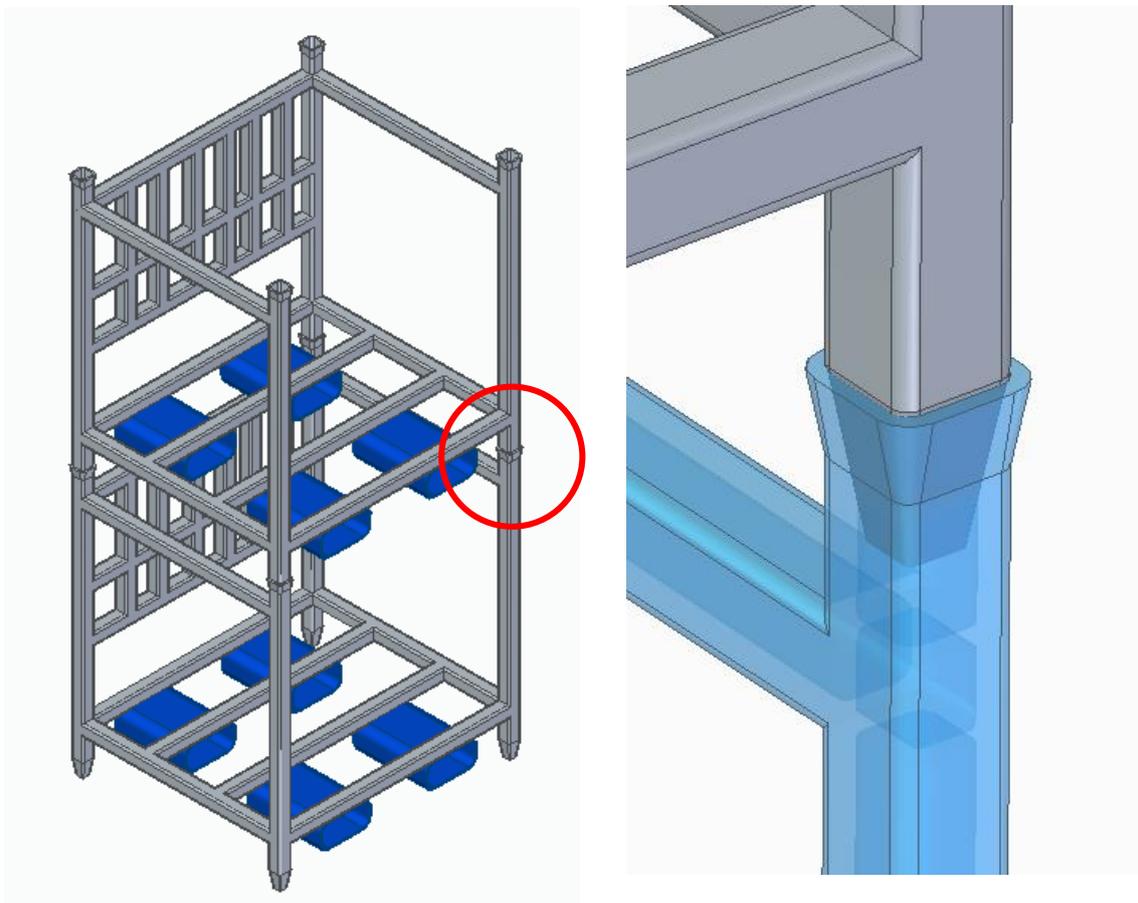


Ilustración 35: Detalle inserción apilamiento

Para finalizar con la estructura del rack mencionar el emparrillado trasero, pensado para soportar los esfuerzos que las barras de apoyo de piezas ejercerán sobre este.

5.4.2. BARRAS SEPARADORAS

En la situación actual en la empresa, cuando el operario del final de línea de Hot Stamping coloca las piezas en el rack, este lo hace colgado una pieza detrás de otra en unas barras que tiene el rack. Después, ya en la línea de corte, el operario saca las piezas manualmente y las separa, necesitando incluso la ayuda de alguna herramienta debido a la fuerza con la que están unidas una a otra.

El hecho de que esté tan unida una pieza a otra se propicia debido a que el operario de la línea de estampado mete las piezas a tope, una detrás de otra y posteriormente el acero sufre una contracción debida al enfriamiento hasta temperatura ambiente.

Con esta disposición de las piezas, resulta imposible que un robot coja los montantes, por eso se ha diseñado una barra con separaciones para que cada pieza tenga una posición definida y no se toque con ninguna otra.

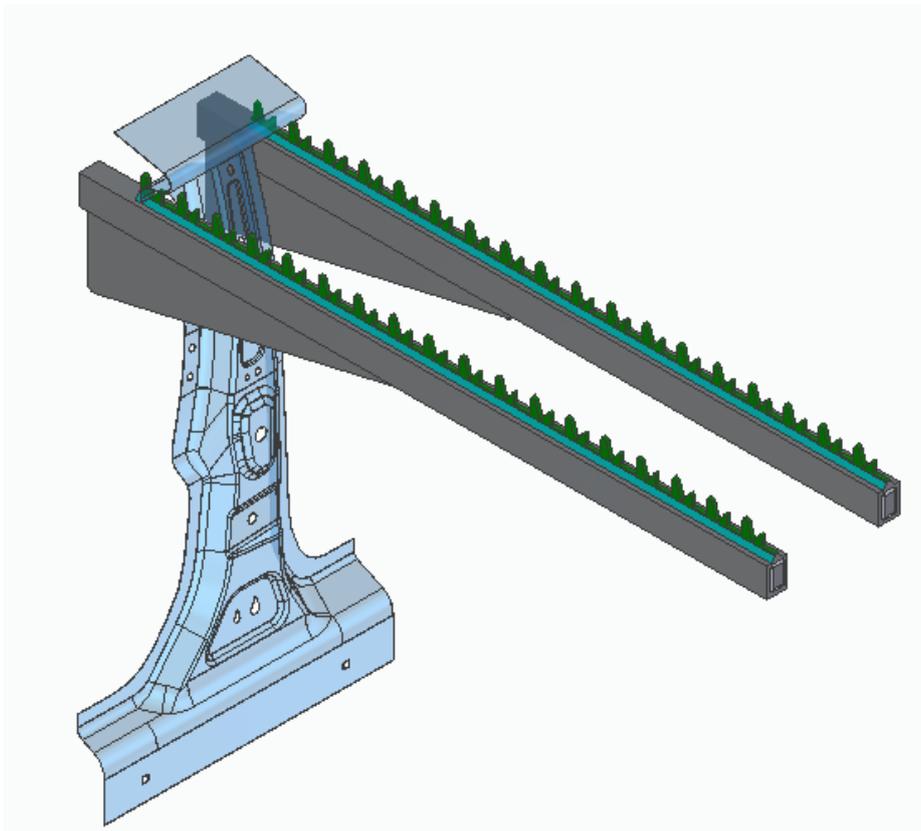


Ilustración 36: Separador de piezas

Para el diseño de estos separadores, se ha seguido el criterio de poder almacenar el máximo número de piezas en cada par de barras permitiendo la recogida del robot. Por eso, la separación de los peines, es la menor posible, siempre permitiendo la extracción de la pieza más exterior, que será la que coja el robot.

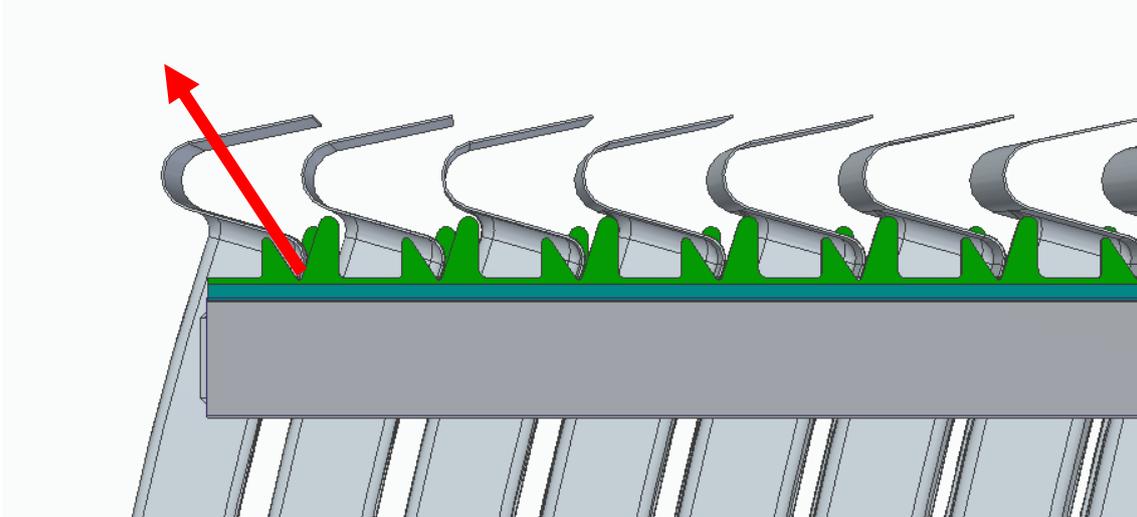


Ilustración 37: Detalle separador de piezas cargado

Como se puede observar en la imagen, la trayectoria de salida de la pieza deberá ser en diagonal, siguiendo el contorno del separador más hacia el exterior. De esta manera, la pieza no colisionará ni con la pieza siguiente, ni con los separadores.

Para aprovechar la totalidad del espacio del contenedor, se han dispuesto tres barras separadoras, una de ellas a distinta altura de las otras dos.

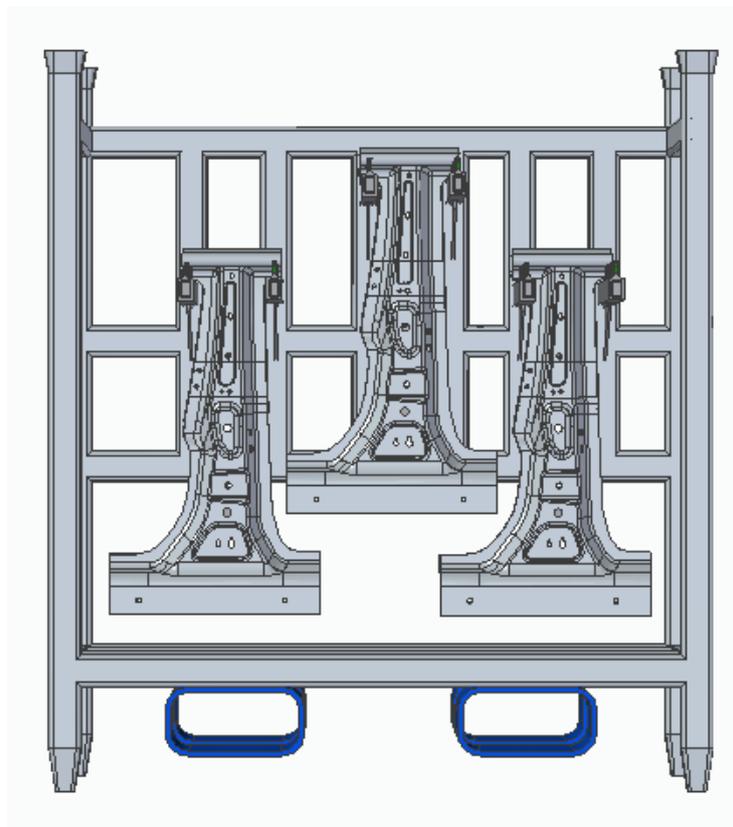


Ilustración 38: Disposición de piezas Rack

Las barras centrales, están a una altura superior para aprovechar el espacio que hay entre los cuerpos de las piezas de los laterales. Con esta disposición es posible almacenar el mismo

número de piezas en menor espacio, pues la altura añadida no supone un problema para el apilamiento en altura, y en cambio, el ancho del contenedor se reduce considerablemente.

Analizando el procedimiento de retirada de material del robot, se puede poner en duda que al coger alguna de las piezas de los extremos, estas al extraerlas del contenedor, puedan colisionar con alguna pieza del centro.

Se ha medido la distancia vertical existente entre estas piezas y resulta improbable que puedan llegar a colisionar. Aun así, se evitaría este hecho programando que el robot empiece a coger piezas siempre de la columna del medio y una vez que acabe con este empiece con las de los laterales. De esta manera se evita cualquier tipo de problema de colisión en la recogida de piezas.

5.4.3. CIERRES

Se ha añadido al final de las barras separadoras un cierre mecánico manual de manera que cuando el contenedor esté lleno, se pongan el cierre en posición vertical para evitar que se pueda descolgar alguna pieza durante la manipulación del contenedor.

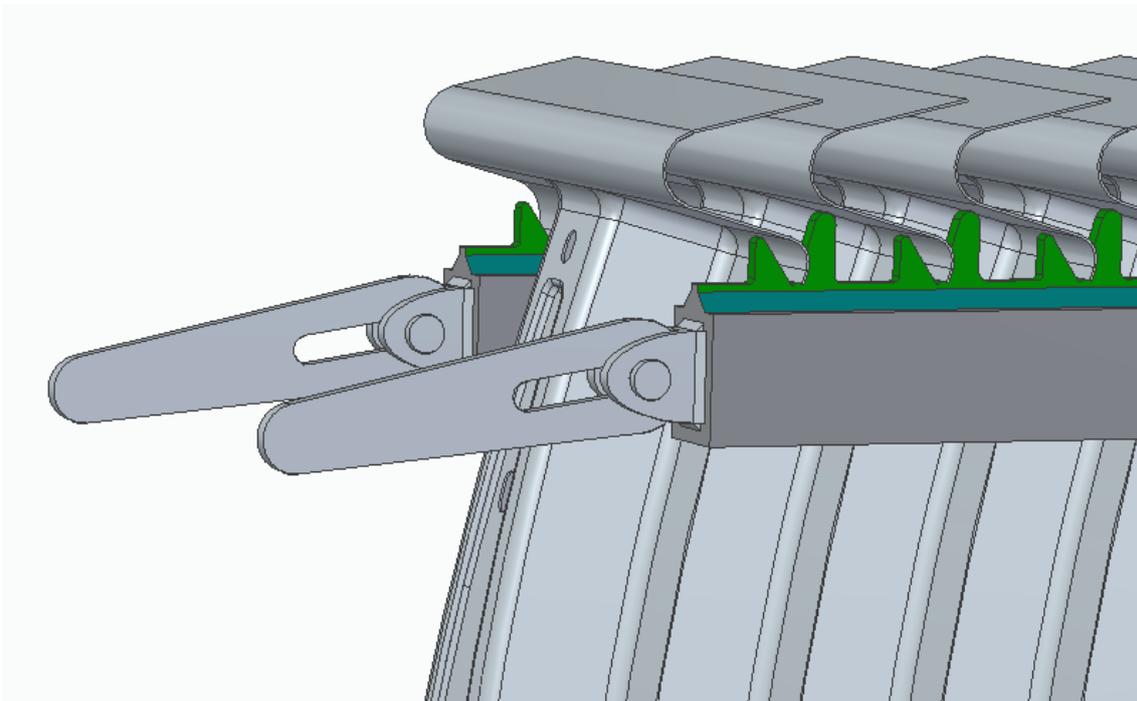


Ilustración 39: Detalle cierres de seguridad

Tener en cuenta que la manipulación de estos contenedores, la mayoría del tiempo, es a una altura considerable, y resultaría muy peligroso que se desprendiera hacia el suelo alguna pieza.

5.4.4. VISTA GENERAL DEL RACK DE ALMACENAMIENTO

A continuación, se observa una imagen del rack de almacenamiento totalmente lleno con todos sus componentes:

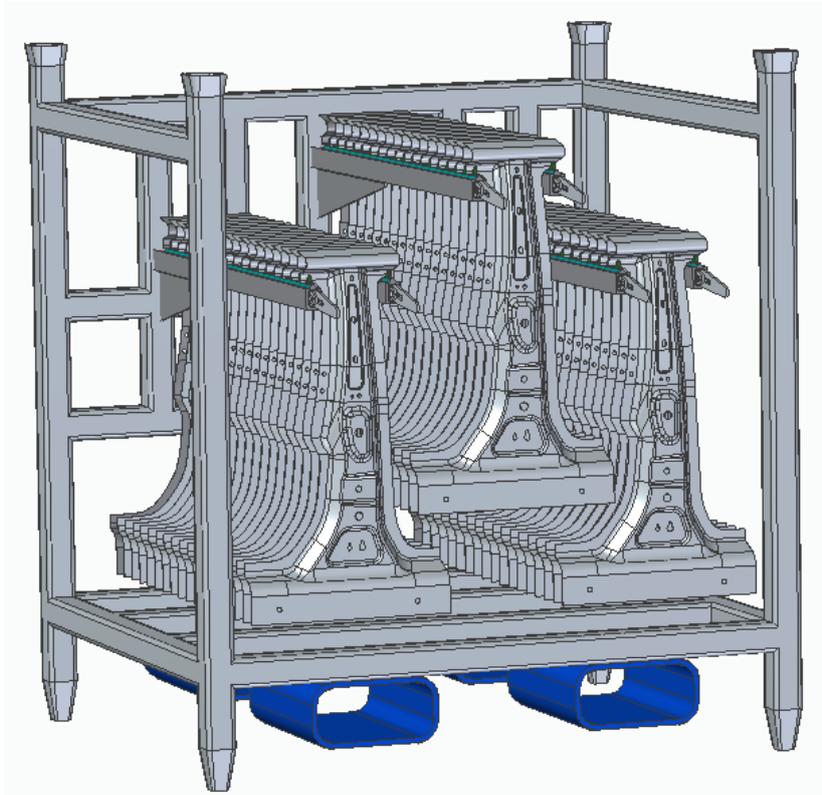


Ilustración 40: Rack completo lleno

5.5. DESCRIPCIÓN DEL ÚTIL DEL ROBOT

Este útil será el encargado de la manipulación de las piezas dentro de la celda. Deberá realizar la descarga de la pieza ya cortada, dejarla en el rack de descarga, coger pieza del rack de alimentación y posicionarla en el útil de corte. Esta secuencia citada es la que seguirá el robot en un ciclo normal de producción.

5.5.1. PROBLEMÁTICAS DE DISEÑO

Durante el diseño del útil del robot se han planteado diversas problemáticas. En primer lugar, surge el problema de la cogida de piezas en el rack de alimentación. Para coger una pieza, en primera instancia, se planteó el uso de grippers desde los laterales de la pieza. El útil del robot debería estar dotado de actuadores neumáticos que, de manera similar a como se hace en el útil de corte, agarrara la pieza firmemente y consiguiera extraerla del rack sin oposición.

El problema de este sistema es el espacio en el que actúa el gripper, demasiado amplio para no chocar con ninguna otra pieza.

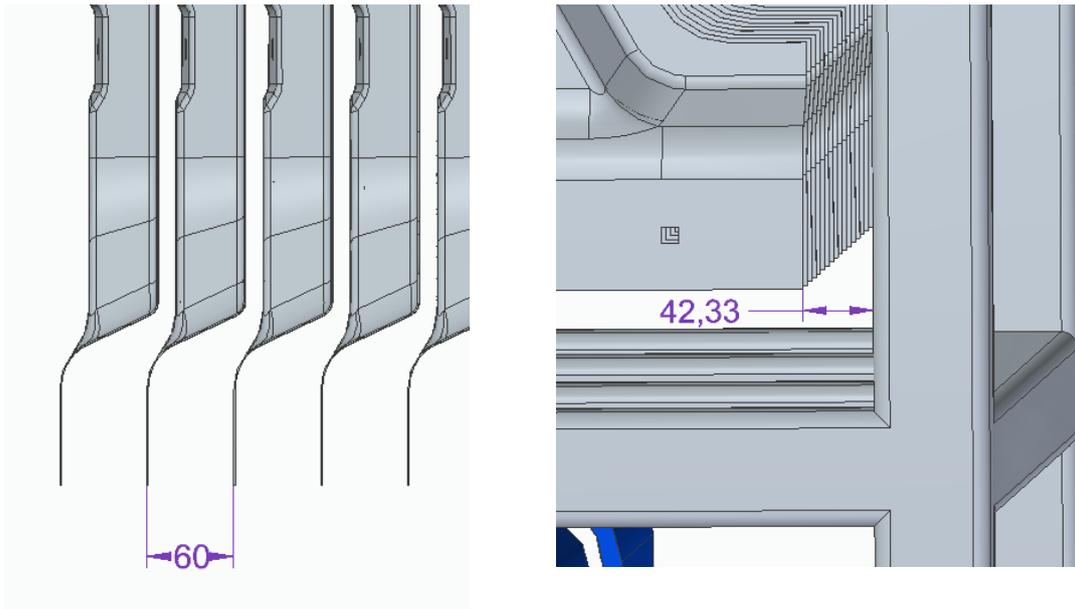


Ilustración 41: Detalles separación piezas

En la imagen de la izquierda se muestra el ancho existente entre piezas en la zona de la cola. Esta zona, es la más adecuada para la actuación del gripper, pues es una superficie plana con una separación de 6cm entre pieza y pieza. Viendo esto, pese a ser necesario colocar un gripper pequeño, sería posible introducir este sistema; pero también se debería colocar otro en la parte superior de la pieza y ahí solo hay geometrías curvas y muy poca separación entre ellas.

Además, como se muestra en la figura de la derecha, el gripper debería actuar desde el lateral y la separación entre el borde de la pieza y la columna de la estructura del rack es de 4,2 cm. Este hecho desestima casi por si solo el diseño de cogida con grippers.

En busca de una solución, se plantea una cogida por las faldas de la pieza, más o menos en las zonas marcadas en rojo.

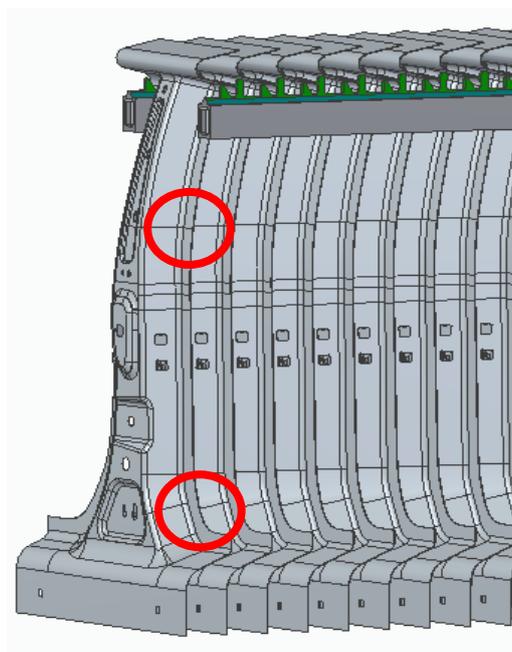


Ilustración 42: Posible alternativa cogida piezas

Con esta configuración, se evita la colisión con la estructura del rack, y se piensa que podría ser posible su correcto funcionamiento; pero se valora otro sistema diferente que evita constructivamente los problemas nombrados en este apartado.

5.5.2. ALTERNATIVA ELEGIDA

Se plantea el uso de garras magnéticas para a cogida de piezas. Con esta configuración, se evitaría la problemática que plantea coger la pieza lateralmente, ya que la actuación de los imanes sería frontal y perpendicular a la superficie en la que actúe.

En términos de viabilidad, se comprueba que realmente es posible sujetar una pieza de este tipo mediante uno, o varios imanes. Tras consultar varios catálogos de fabricantes, se elige el modelo de garras magnéticas SGM-HP del fabricante SCHMALZ.

Se trata de unas garras magnéticas de imán permanente pensadas para altas fuerzas de retención. La actuación de estas garras es mediante aire comprimido. Un cilindro interior neumático desplaza un imán hacia a superficie sobre la que se desea que actúe (Posición A), y hasta que no se hace actuar al cilindro hacia su otro sentido (Posición B), la fuerza de sujeción no cesa.

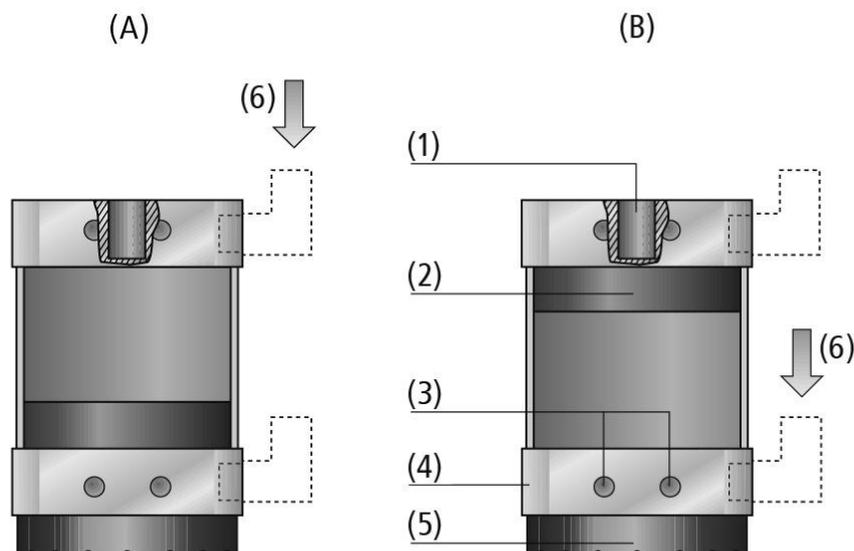


Ilustración 43: Detalle constructivo interior garra magnética

Existen varios modelos de esta referencia, en los cuales varía su tamaño y por tanto la fuerza de sujeción. En la siguiente tabla que nos proporciona el fabricante podemos ver las variaciones que existen entre los modelos que se ofertan.


Datos técnicos Garras magnéticas SGM-HP/-HT

Tipo	Fuerza de retención máx. sin anillo fricción [N]*	Fuerza de retención máx. anillo fricción [N]	Grosor ópt para fuerza ret. máx. [mm]**	Fuerza de retención 2mm-grosor sin anillo fricción [N]	Fuerza de retención 2mm-grosor anillo fricción [N]	Fuerza restante [N]
SGM-HP 20 G1/8-IG	28	19	1	25	16	0,3
SGM-HP 30 G1/8-IG	130	90	2	130	90	0,3
SGM-HP 40 G1/4-IG	320	235	4	290	210	0,3
SGM-HP 50 G1/4-IG	560	385	6	415	290	0,3
SGM-HT-HP 30 G1/8-IG	120	80	2	120	80	0,3
SGM-HT-HP 40 G1/4-IG	290	230	4	260	200	0,3
SGM-HT-HP 50 G1/4-IG	520	330	6	370	270	0,3

Tabla 5: Datos técnicos garras magnéticas

Teniendo en cuenta que el peso del montante B es muy aproximado a 4 kilos, según esta tabla, cualquiera de los modelos existentes sería suficiente para su manipulación.

Sin embargo, se entiende que la fuerza de retención que indica el fabricante es en situaciones optimas de trabajo... Fuerza perpendicular al suelo sin esfuerzos de cizalla, movimientos lentos y controlados, superficie de contacto totalmente plana... A criterios de este trabajo se considera insuficiente, pues el útil tendrá un movimiento dinámico en el que la inercia será importante, la posición de amarre variará durante el trayecto de la pieza y la superficie no será perfectamente plana.

Por estos motivos, se ha decidido sobredimensionar el sistema de amarre, colocando cuatro garras magnéticas; 3 del modelo SMG-HP 40 G1/4-IG y una, situada en la cabeza del modelo SMG-HP 30 G1/4-IG. Se coloca en la cabeza una garra de menor tamaño por motivos geométricos.

Se ha tomado esta decisión porque se considera que el peso económico que pueda conllevar añadir unas garras más potentes, o aumentar su número, no es significativo frente a lo que pueda costar el total de la celda, y de esta manera se cree que se pueden evitar errores de posicionamiento debido al movimiento de la pieza durante el movimiento del robot.

Debido a que no se ha encontrado un CAD de este producto, se ha diseñado una réplica con motivo de poder utilizarla en el proyecto.

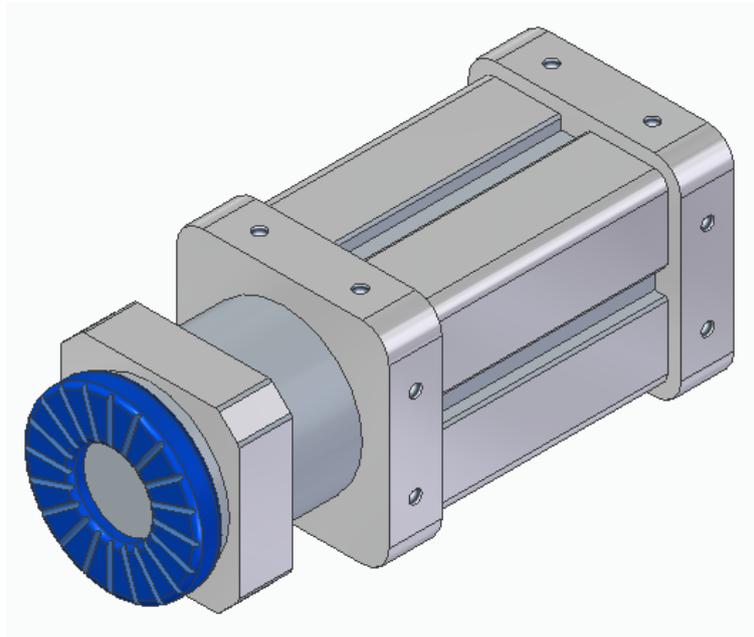


Ilustración 44: CAD garra magnética

La réplica incorpora todos los elementos del original, incluyendo:

- Protección antifricción: Pieza de goma (azul) que se coloca sobre la superficie de contacto y que protege las zonas de desgaste de la garra.
- Guías: Pensadas para amarrar la pieza mediante pasadores
- Orificios roscados: Para amarrar la pieza mediante tornillos

Para el amarre a la parrilla del robot, se ha decidido utilizar los orificios laterales roscados. Para acoplarlos a ella, se ha diseñado un soporte adaptable, de manera que se pueda regular la posición de la garra magnética.

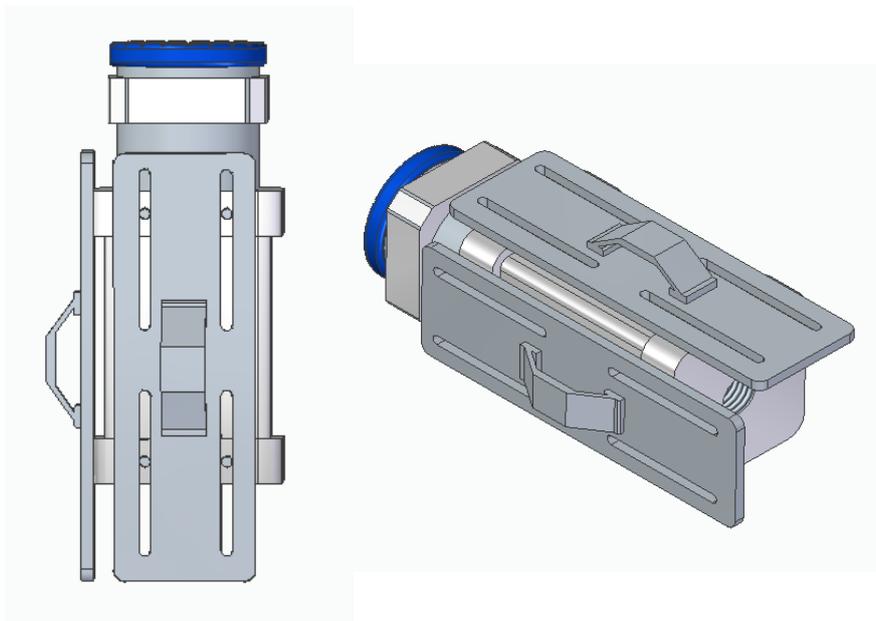


Ilustración 45: Soportes garras magnéticas

Estos soportes, irán acoplados al emparrillado y se podrán disponer de la manera más adecuada.

5.5.3. DISEÑO DEL ÚTIL DEL ROBOT

El proceso constructivo del útil del robot ha consistido en colocar las garras en las posiciones más adecuadas para el amarre, teniendo en cuenta las restricciones que los elementos que intervienen en el proceso pudieran imponer. Esto es, útil de corte, montantes y racks.

5.5.3.1. CRITERIOS DE DISEÑO RESPECTO AL ÚTIL DE CORTE.

En primer lugar, nos encontramos que el útil de corte limita constructivamente el útil del robot, principalmente por dos motivos:

La geometría del emparrillado no debe interferir con ninguna pieza del útil de corte. En la siguiente imagen se dispone el útil de manipulación en la posición en la que dejaría o cogería una pieza del útil de corte:

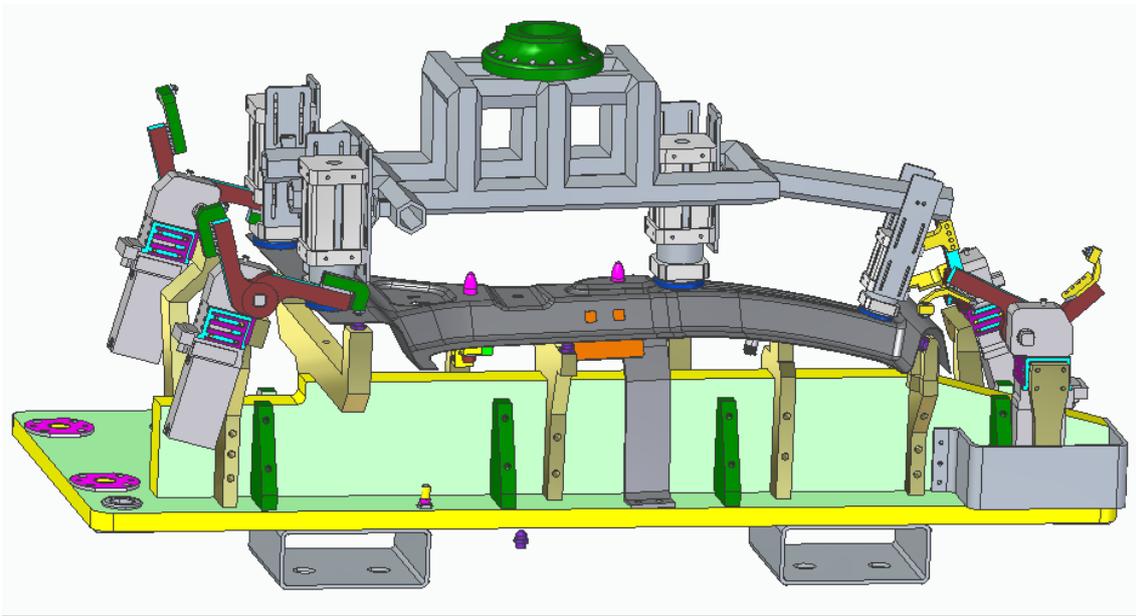


Ilustración 46: Útil de corte + útil robot

En la imagen se puede apreciar que las garras magnéticas de la zona de la cola interfieren con las garras de los clamps, pero en el momento en que el útil de manipulación deje o coja piezas del útil de corte, todos los clamps estarán en la posición de abierto, por lo que en ningún momento interferirán unos con otros.

Por otro lado, la disposición de los pines centradores no nos permite utilizar las superficies de los agujeros realizados en el proceso de estampado. A priori estas zonas serían muy válidas para el uso de las garras magnéticas, pero, al existir estos centradores, imposibilitan la retirada de la pieza del útil de corte.

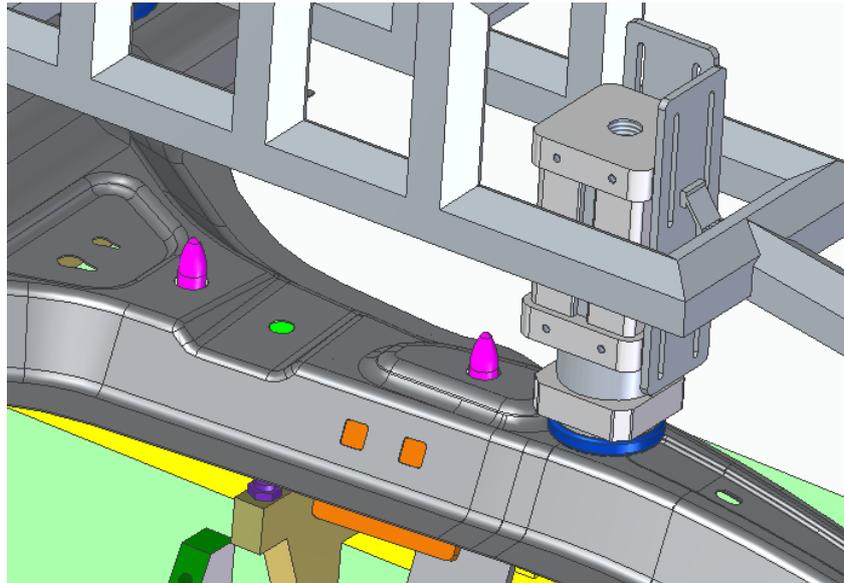


Ilustración 47: Detalle problemática pines centradores

5.5.3.2. CRITERIOS DE DISEÑO RESPECTO A LA GEOMETRÍA DE LA PIEZA

La propia geometría de la pieza favorece e imposibilita el amarre por este método por según qué zonas. Se han elegido zonas lo más planas posibles, a la vez que distribuir a lo largo de toda la pieza los amarres.

La zona más adecuada, sin lugar a dudas, es la parte plana de la cola. Por este motivo se ha decidido colocar dos garras magnéticas con el objetivo de aprovechar la elevada fuerza de retención que se ejercerá en esta zona.

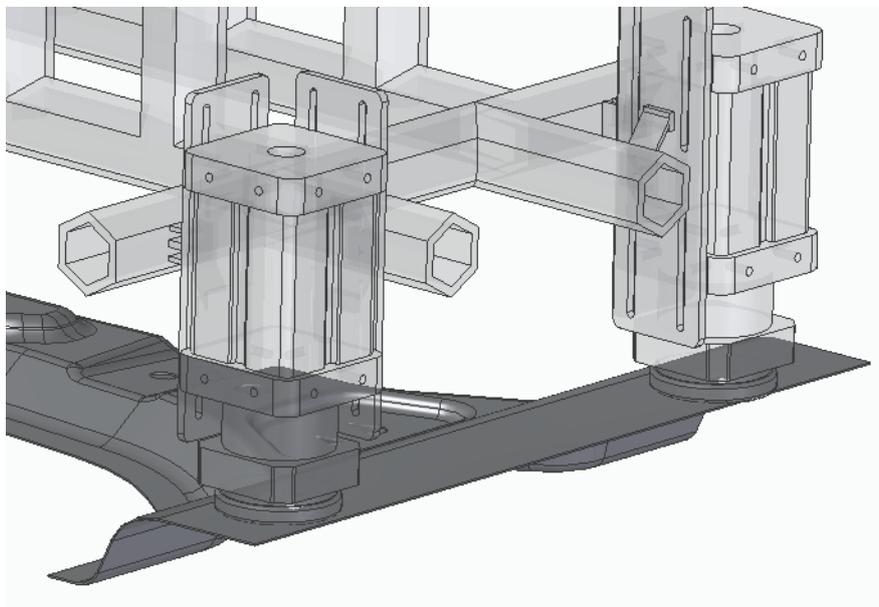


Ilustración 48: Detalle agarre zona cola

Además, se colocan garras en la zona central de la pieza y en la zona de la cabeza. Como en la cola, se ha intentado en la medida de lo posible realizar la sujeción por las zonas planas de la pieza.

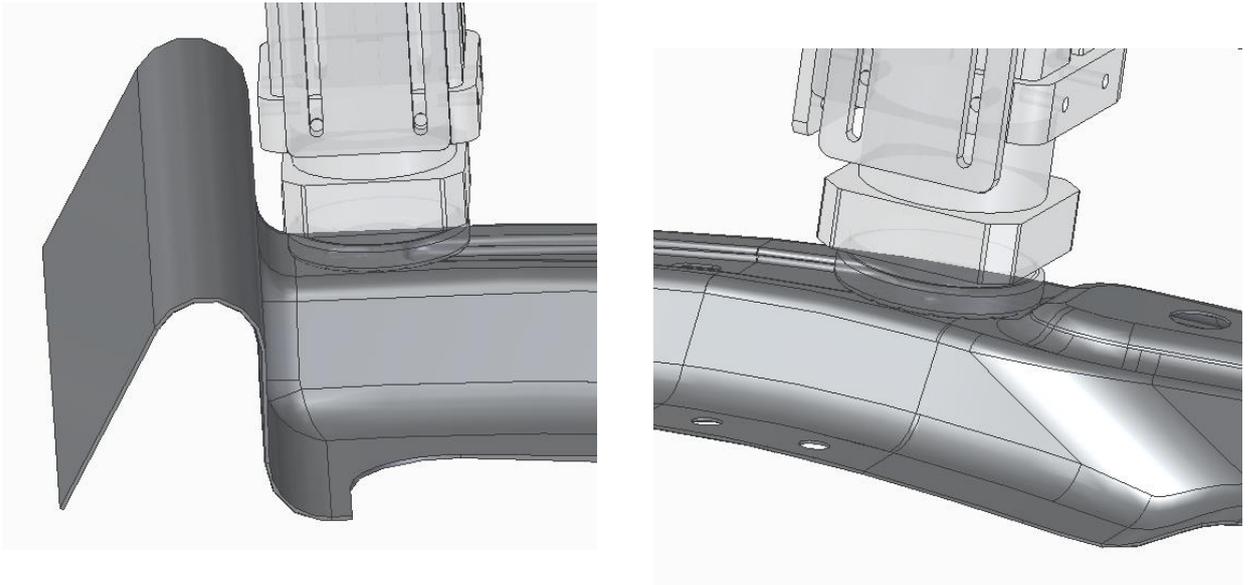


Ilustración 49: Detalle agarra zona cabeza y zona central

5.5.3.3. CRITERIOS DE DISEÑO RESPECTO AL RACK DE ALMACENAMIENTO

Para asegurar el amarre de la pieza en la secuencia de carga desde el rack de alimentación, se ha contemplado el supuesto más desfavorable, siendo este cuando se coja la última pieza del rack. En la siguiente imagen, se omite en resto de separadores para dar claridad.

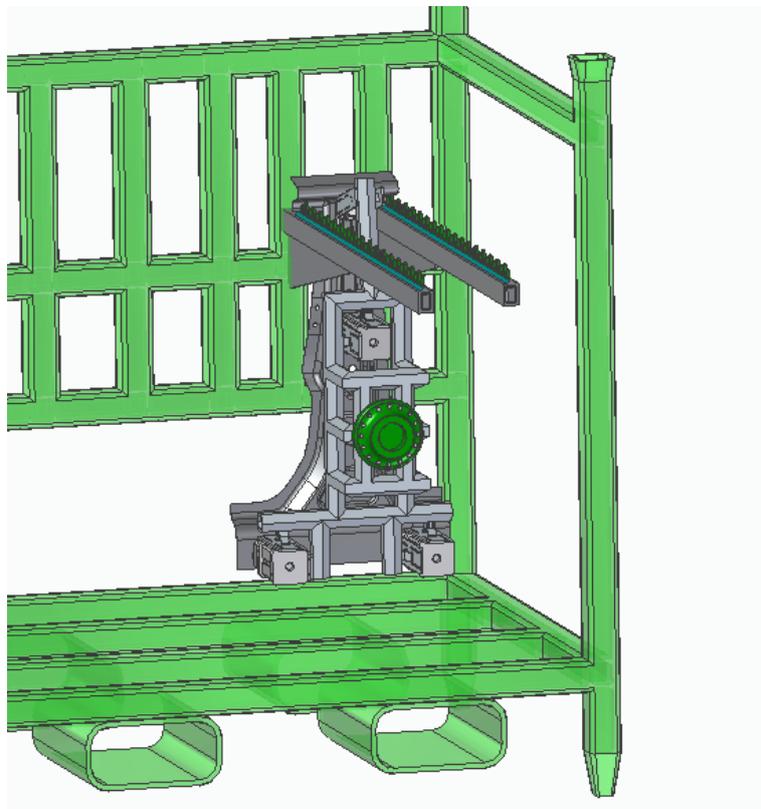


Ilustración 50: Contenedor + útil robot

En esta situación se ha dispuesto el útil de manipulación, y se ha configurado la parrilla evitando las partes fijas del contenedor

Teniendo en cuenta que el robot realizará un pequeño movimiento en diagonal para evitar el separador y posteriormente un movimiento en la dirección de las barras separadoras hasta haberlas sobrepasado, en la siguiente imagen, se observa que la retirada de la pieza es posible.

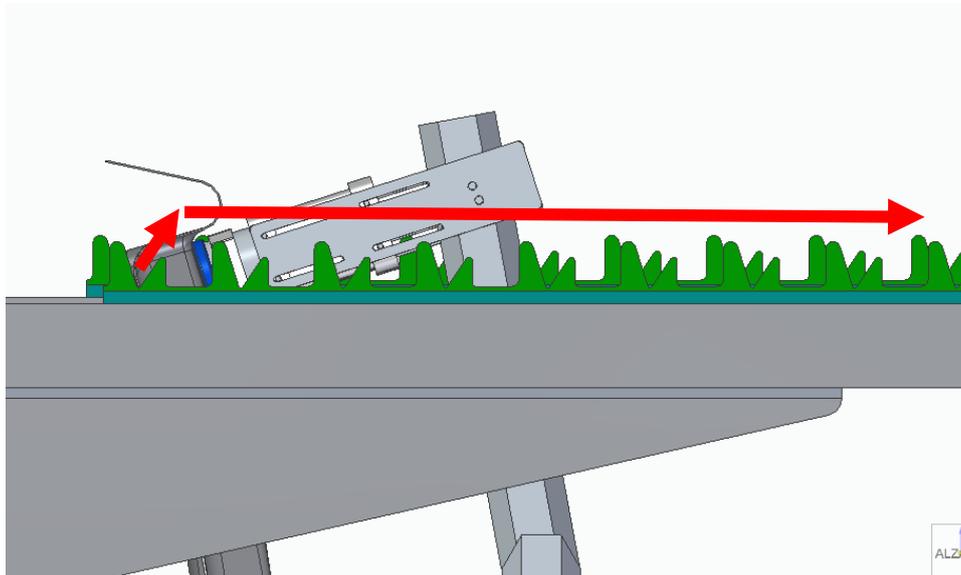


Ilustración 51: Detalle salida rack útil robot

5.6. CONFIGURACIÓN DE LA CELDA AUTOMATIZADA

En este apartado se muestra una de las posibles configuraciones de la celda automatizada. En ella se incluyen todos los elementos tratados en este trabajo y se disponen en conjunto para mostrar una posible disposición de ellos.

Se ha utilizado el lay-out de la celda en configuración manual para superponer los elementos de este trabajo. Se ha añadido para tener una referencia a escala real y colocar los nuevos elementos de manera que se acerque a la realidad lo máximo posible.

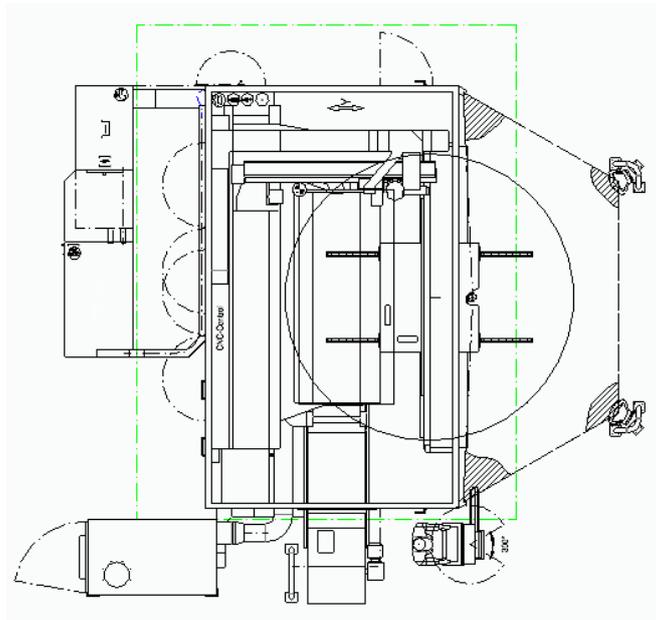


Ilustración 52: Lay-Out máquina de corte

En primer lugar, posicionamos el Fixture sobre la mesa que está en la posición exterior de la máquina de corte.

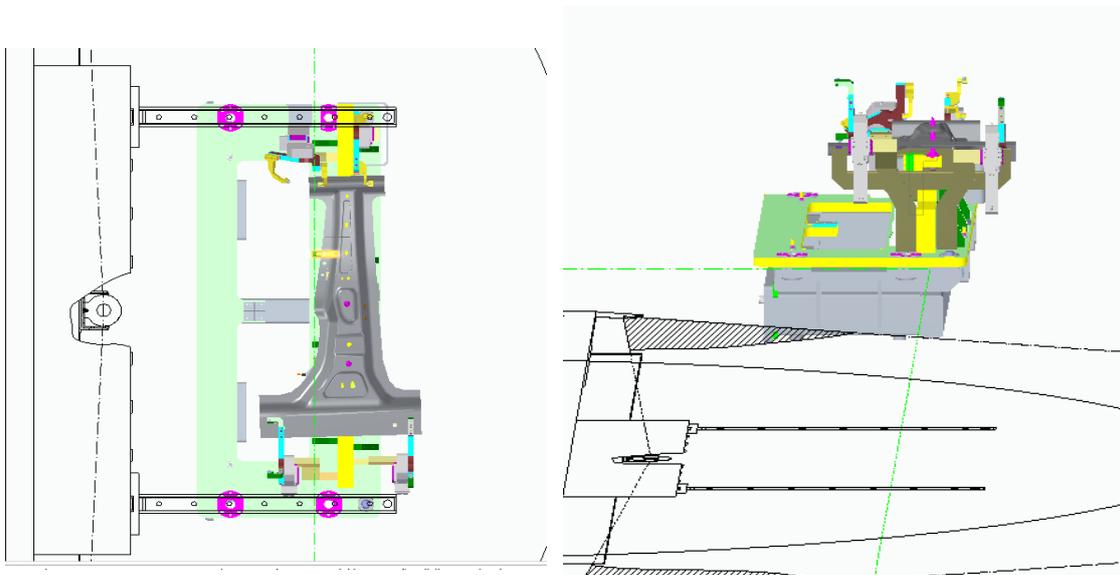


Ilustración 53: Posicionamiento útil de corte en celda

Se añade al conjunto el robot manipulador de piezas. Para este trabajo, se ha elegido un robot de fabricante KUKA, concretamente el modelo QUANTEC KR 120 R3100-2 cuyas especificaciones de fabricante son:

	KR 120 R3100-2
Carga	120 kg
Máx. alcance	3100 mm
Forma constructiva	Estándar
Versión entorno	Standard
Posición(es) de montaje	Suelo
Tipo de protección	IP 65 IP 67

Tabla 6: Datos técnicos robot KUKA elegido

Se ha elegido este modelo atendiendo principalmente al rango de alcance. Éste tiene como alcance máximo 3100 mm. Por otro lado, se ha elegido el modelo que menos carga puede manipular (de la gama seleccionada), ya que 120Kg de manipulación es más que suficiente para este proyecto.

El robot se ha dispuesto en el centro de la zona de carga y descarga, a una distancia suficiente para evitar el giro de la mesa de la máquina de corte.

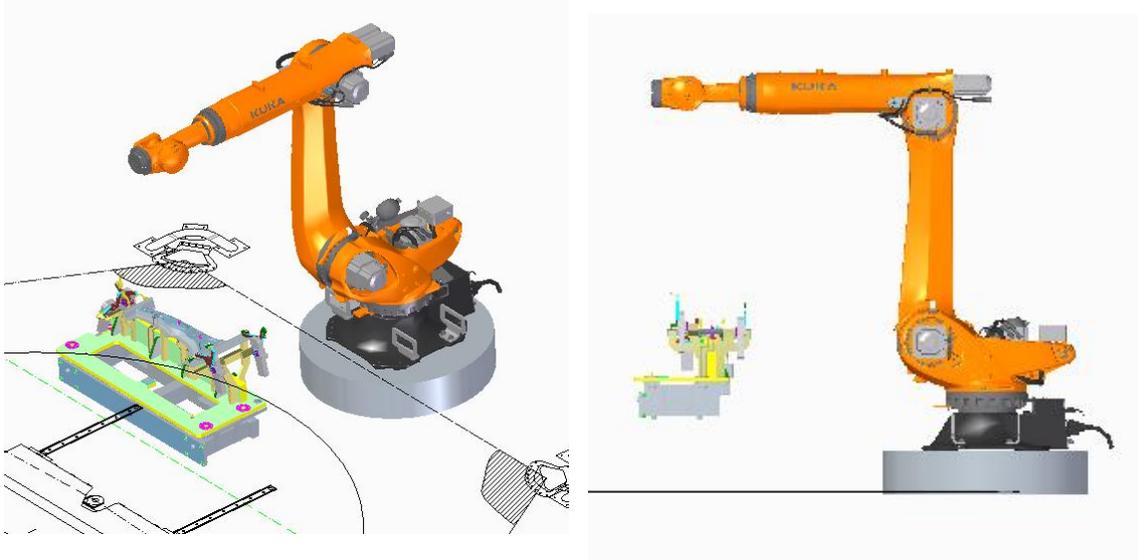


Ilustración 54: Posición robot celda

Al conjunto se añade el útil de amarre, que se acopla al plato del robot:

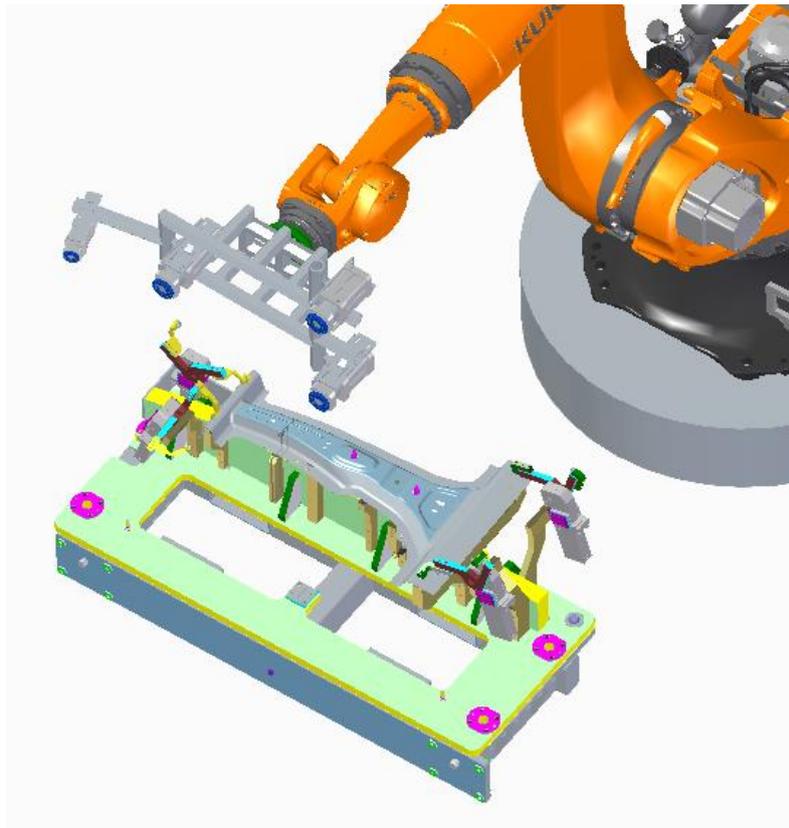


Ilustración 55: Fixture + robot + útil robot

Por último, es necesario colocar los contenedores de almacenamiento. Como, según lo expuesto anteriormente, solo se cortarán en la celda referencias del lado izquierdo, serán necesarios cuatro racks simultáneamente en la celda; dos para carga y dos para descarga.

Para su colocación, se ha tenido en cuenta el rango de alcance del robot. Se han posicionado en la zona del límite máximo del robot, con la intención de favorecer los traslados de pieza. A esta distancia, hay que añadir el aumento de rango proporcionado por el útil del robot, ya que el fabricante proporciona los datos sin la instalación de ningún útil.

Además, se han colocado a una cierta altura. Este hecho viene motivado por cómo tiene que introducir el útil del robot en los contenedores. En la siguiente imagen se muestran los límites del robot en las 3 direcciones del espacio. Comprobamos que la cogida o dejada es posible en la situación más desfavorable (Última pieza del rack).

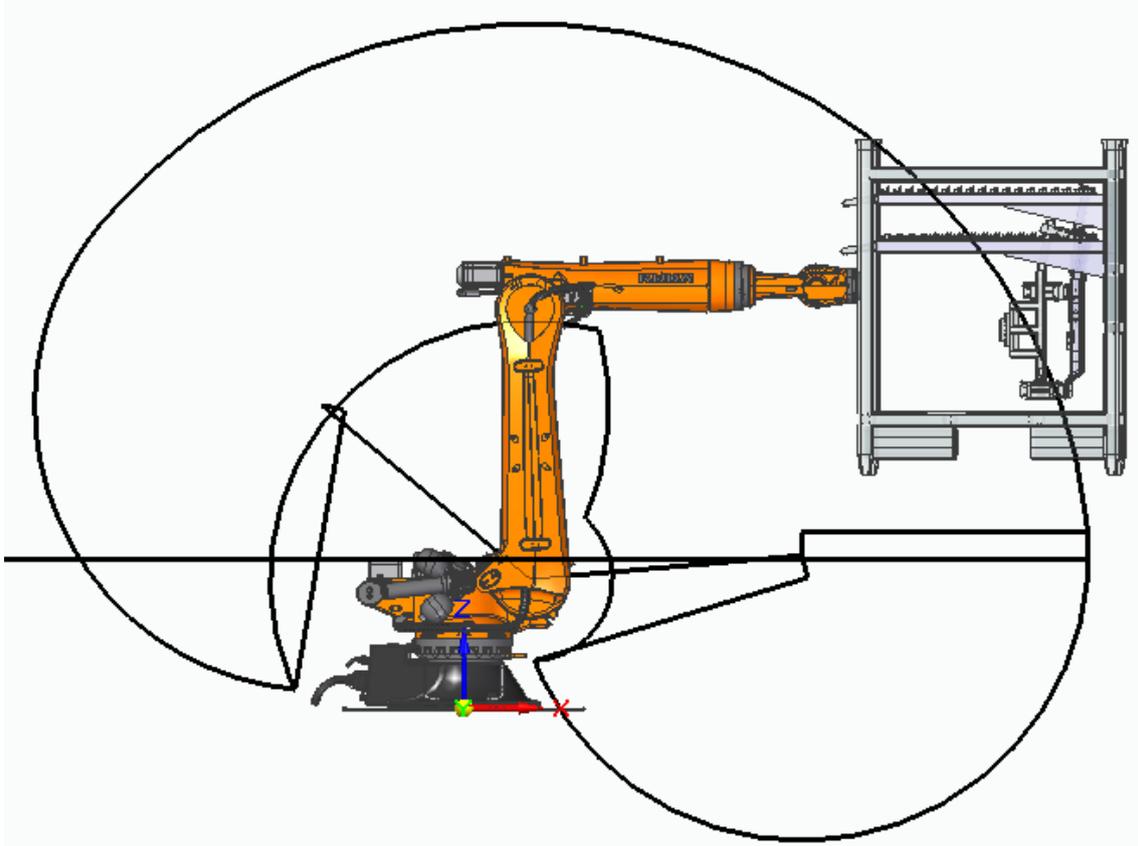


Ilustración 56: Esquema rango vertical robot

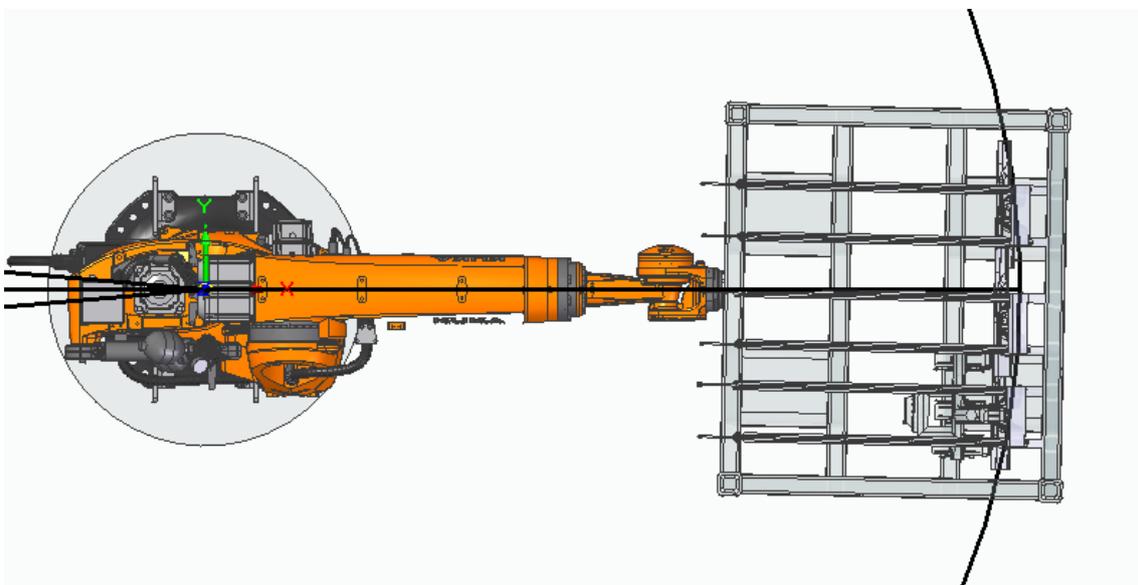


Ilustración 57: Esquema rango robot horizontal

Por lo tanto, la estrategia es posicionar todos los racks en una posición similar a la mostrada, de manera que el robot sea capaz de llegar a coger o dejar la última pieza en cada uno de ellos.

Se han dispuesto los contenedores a lo largo de la circunferencia que marca el alcance máximo para conseguir una situación homóloga en todos los contenedores.

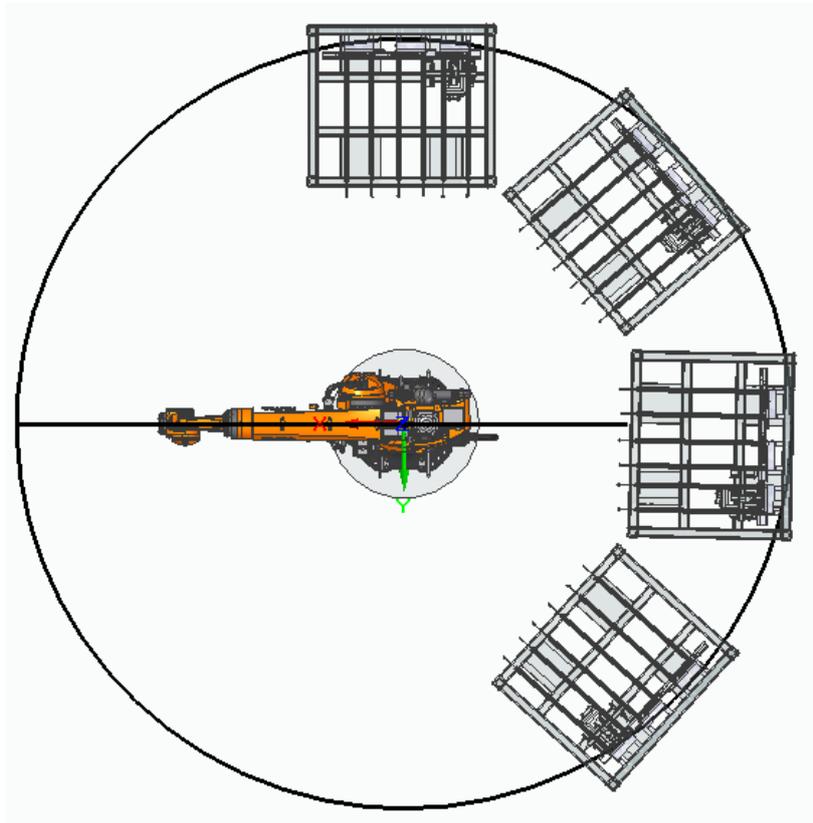


Ilustración 58: Disposición contenedores en celda

Para posicionar los contenedores a la altura mostrada, se ha diseñado una estructura para cada contenedor, que a la vez que deja a estos a la altura estudiada, hace la función de posicionador.

Para ello, se ha preparado un alojamiento que encaja perfectamente con la base de las patas de los contenedores. De esta manera, la posición del contenedor será única cuando se coloque con la carretilla elevadora.

Esta estructura estará debidamente anclada al suelo para asegurar su posición.

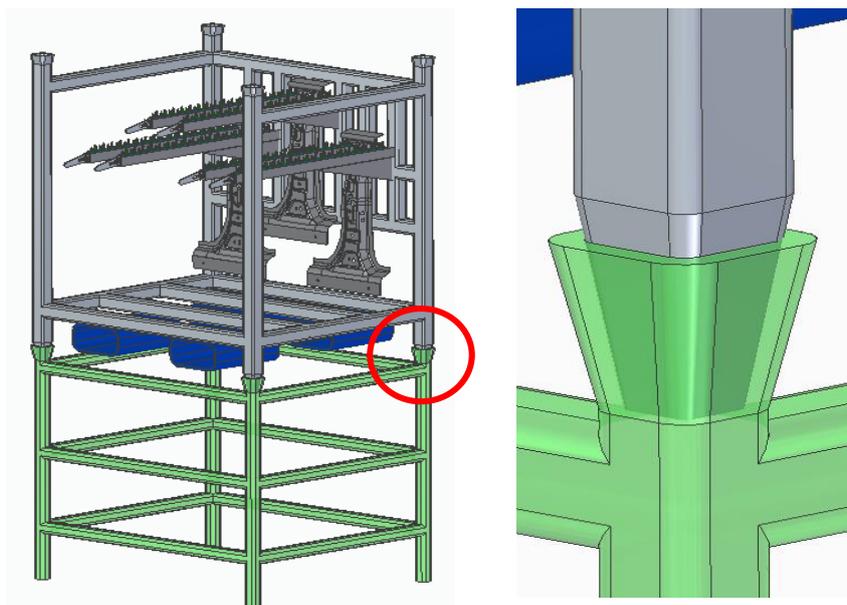


Ilustración 59: Unión estructura - contenedor

Por último, se disponen vallas de seguridad para cerrar completamente la zona de actuación del robot. La celda completa quedaría dispuesta de la siguiente manera:

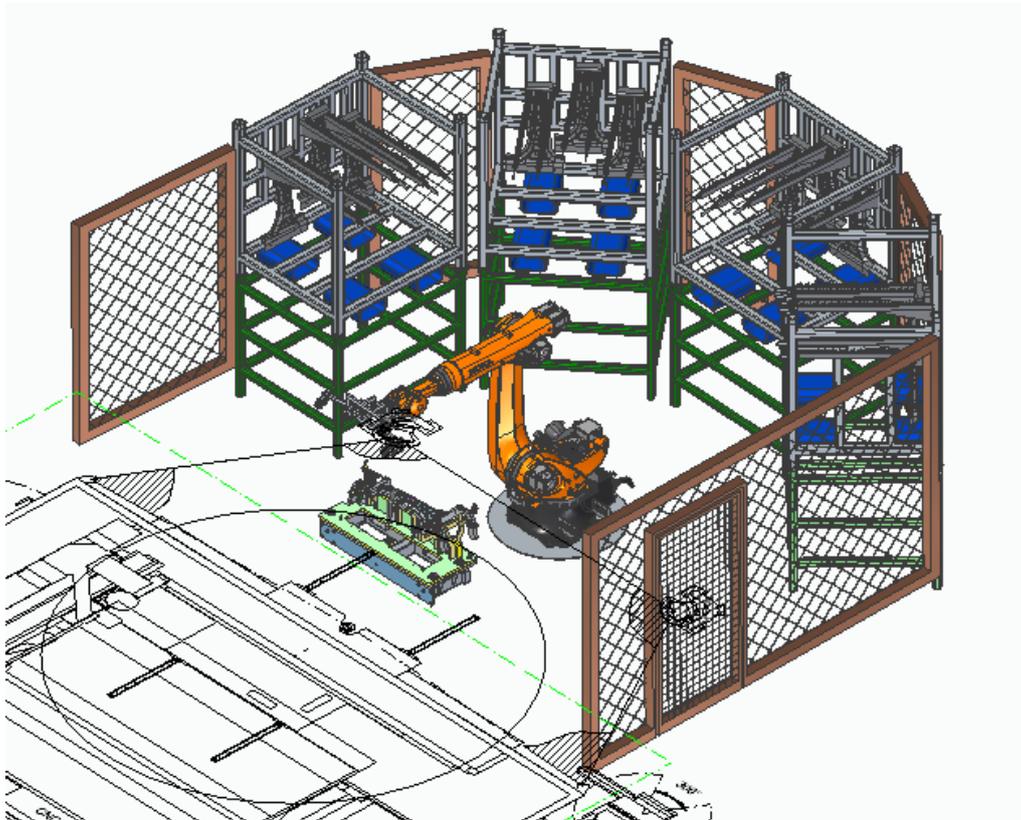


Ilustración 60: Vista frontal celda completa

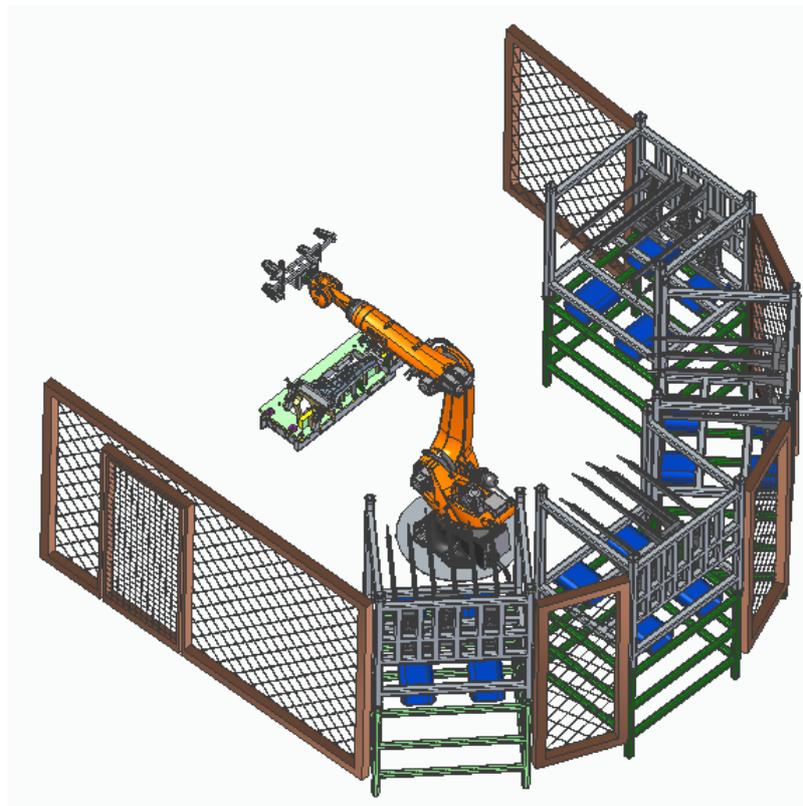


Ilustración 61: Vista trasera celda completa

6. PROGRAMA DE CORTE

Mediante el software CAM del fabricante (TRUTOPS CELL) se ha programado el código CN (Incluido en los anexos) de la trayectoria de corte del útil. A continuación, se muestra el programa de corte completo y se hace un inciso en la manera que se ha de proceder para programar la entrada del corte del contorno exterior.

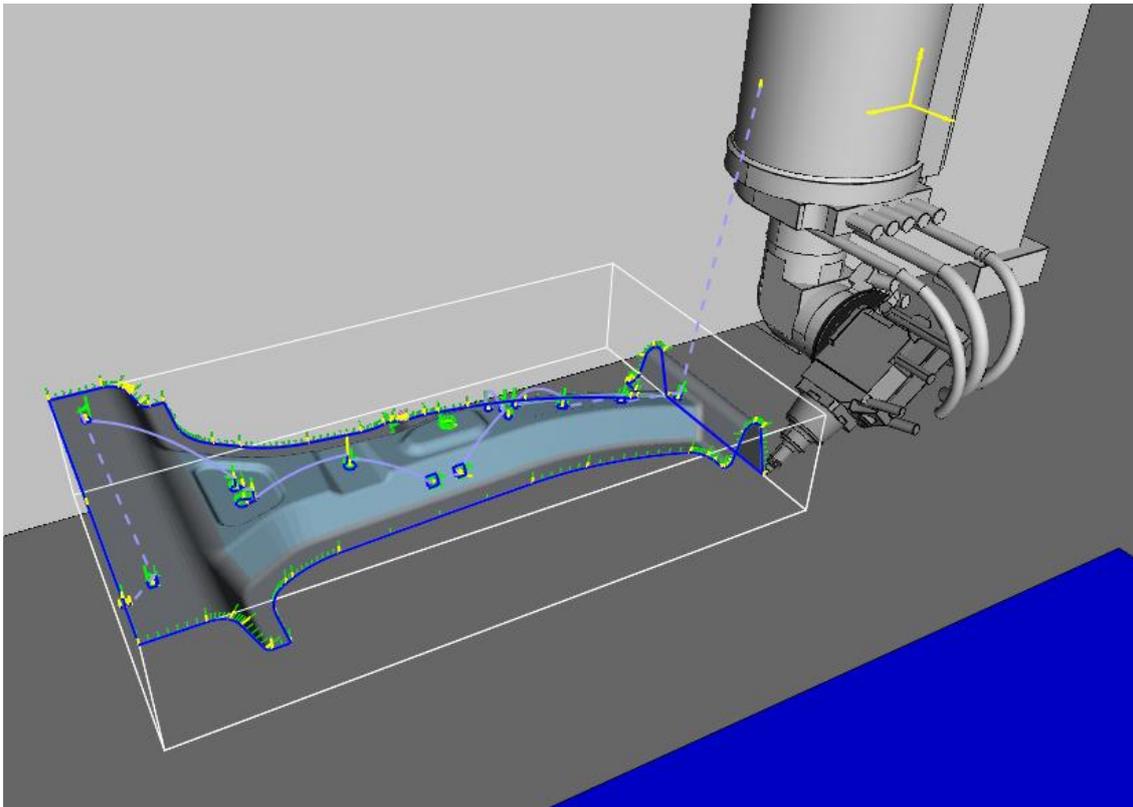
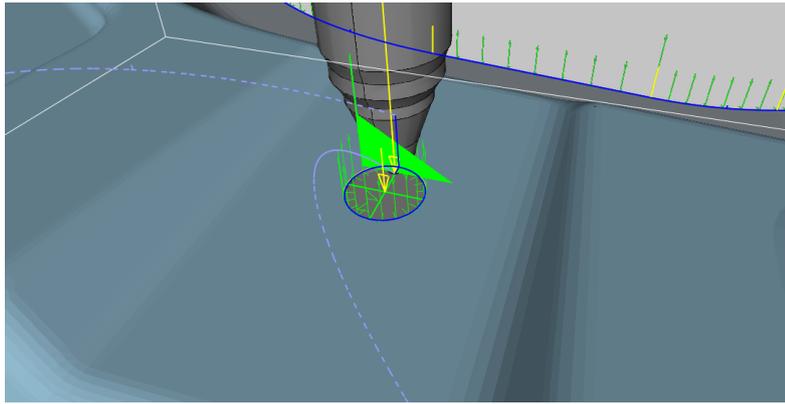


Ilustración 62: Vista trayectoria programa de corte

En todo programa de corte, lo primero que se debe mecanizar son los agujeros. Cuando se coloca la pieza en el útil de corte, se cierran los clamps y la pieza queda sujeta. Cortando los agujeros en este momento, aseguramos que la posición relativa entre ellos va a ser la programada.

En el caso, de que cortáramos parte de los agujeros y posteriormente alguna zona del contorno exterior, tendríamos que abrir clamps y entonces la pieza puede variar su posición, debido a tensiones acumuladas en el enfriamiento o a una colocación imprecisa. Cuando se retome el corte de los agujeros, la pieza ha podido variar su posición y la distancia relativa entre agujeros cambiará.

Para el corte de los agujeros RPS, se programa una instrucción especial que disminuye la aceleración de los ejes de la máquina para obtener un mecanizado más preciso. Esta instrucción cambia el nivel dinámico de la máquina y se programa de la siguiente manera:



```

CN | Grupo | Programas CN | Nivel |
Programa CN : B_PILLAR_3_HOLES / b_pillar 3-holes.igs
N890 CIP I1 = 1549.52 J1 = 715.33 K1 = 7.47 X = 1585.28 Y = 646.87 Z = -18.87 B = -3.26 C = -90.00
N900;===== BLOCK_START 10 =====
TC_DYNAMIC_LEVEL(0)
N910; LEAD_IN_START
;ENTRY LASER:
BLOCK_10:
N920 G01 X = 1585.28 Y = 646.87 Z = -18.87 B = -3.26 C = -90.00 F = 173000
N930; LEAD_IN_END
N940 R1 = 1585.28 R2 = 652.21 R3 = -19.18 R4 = -3.26 R5 = -90.00 R11 = 0.00 R26 = 12.00
N950 TC_CIRC2(14.70,1.85,0.50,11,10,100,"ST010MDA1H-0")
TC_DYNAMIC_LEVEL(2)
N960;===== BLOCK_END =====
N970 CIP I1 = 1549.52 J1 = 715.33 K1 = 7.47 X = 1585.28 Y = 646.87 Z = -18.87 B = -3.26 C = -90.00
  
```

Ilustración 63: Detalle nivel dinámico agujero RPS

Con TC_DYNAMIC_LEVEL(0) se configura el nivel dinámico menos agresivo. Entonces se realiza el corte del agujero, incluido en el bloque 10, y una vez que acaba la macro del agujero circular, se vuelve a programar el nivel más dinámico con la orden TC_DYNAMIC_LEVEL(2), el cual permanecerá activo hasta que no se vuelva a modificar por este u otro método.

Para el corte del contorno exterior, es necesario programar como empieza el corte el cabezal. Para la explicación, se numeran los vectores significativos en la siguiente imagen:

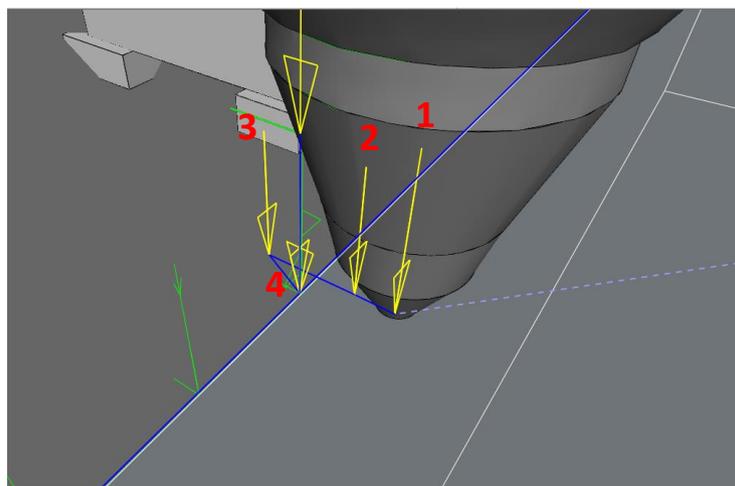


Ilustración 64: Detalle ataque pieza

Para comprender la necesidad de programar la entrada de corte en el contorno, es importante conocer que el cabezal de corte tiene la capacidad de regular y corregir la distancia de la punta del útil a una determinada distancia. En el caso de que la pieza este en una posición algo más alta que la programada en el programa CN, el cabezal corregirá esta variación para colocar la

punta del útil a la distancia programada. Si el caso es el contrario, que la pieza está más baja que la posición programada en el programa CN, la punta del útil irá a “buscar” el material hasta colocarse a la distancia programada.

Una vez explicado esto, se procede a explicar el comienzo de corte:

- En el vector número 1, el cabezal llega y comienza a cortar con la regulación de distancia activa y con la potencia del láser al mínimo. Esto provoca una leve marca en la pieza, que no supone ningún problema de calidad y se asume.
- Una vez que el cabezal llega al vector número 2, el control desactiva la regulación de distancia y sigue cortando con la potencia al mínimo. El hecho de desactivar la regulación de distancia permite que el cabezal pueda salir del contorno de la pieza sin colisionar, ya que si la regulación estuviera activada el cabezal iría a buscar un material inexistente y acabaría colisionando contra la pieza.
- En el vector número 3, con la regulación de distancia desactivada todavía, se cambia la potencia del rayo al valor nominal, por lo que ahora sí, el láser cortará la pieza.
- En el vector número 4, se activa la regulación de distancia con la potencia del rayo al valor nominal. En este punto, continua el programa de corte del contorno exterior.

Este método, nos permite absorber la variación que puedan tener las piezas tras el proceso de estampado y asegurar que no colisionará en ninguna de ellas siempre que las creces de material estén dentro de unas tolerancias.

7. ALTERNATIVAS Y MEJORAS PROPUESTAS

Como se ha comentado en la sección 4.2., dado el carácter académico del trabajo y puesto que no se van a poner en práctica los contenidos de éste, el presente proyecto ha considerado para la construcción de sus elementos que la celda se emplearía únicamente para cortar únicamente la mano izquierda de un solo modelo de pieza.

Según lo expuesto en la sección 4.2. y en base a la demanda media del cliente, se propone la instalación de dos celdas automatizadas simétricas donde en cada una se corte una mano de la referencia propuesta.

Mientras la demanda exigida por el cliente sea superior a la capacidad de la celda, es lógico mantener a las celdas automatizadas a pleno rendimiento dedicándose únicamente a esa referencia y, por otro lado, instalar en otras máquinas existentes en la empresa, un utillaje de la misma pieza para producir simultáneamente, aumentar la producción y así satisfacer la demanda.

Se entiende que este segundo utillaje estará instalado únicamente el tiempo necesario para, estando dedicadas las celdas automatizadas al 100%, se cumpla con el total de la demanda, siendo el segundo utillaje el que se retiraría para colocar otro cuando se cumpla este objetivo.

En cambio, cuando la demanda fuera baja, se sobrepasaría la producción objetivo. Se puede pensar que es razonable acumular material para cuando la producción sea superior a la de la capacidad de las celdas, pero no es una estrategia que se lleve a la práctica pues supondría mantener mucho inmovilizado con los costes que acarrea.

El objetivo de este apartado es dar solución a estos problemas y dotar de flexibilidad a la celda.

Para que una celda sea flexible, debe de ser capaz de fabricar distintas referencias haciendo las modificaciones necesarias para ello en un tiempo aceptable en cuanto a términos productivos se refiere.

7.1. PRODUCCIÓN DE AMBAS MANOS EN LA MISMA CELDA

Por un lado, se plantea la necesidad de cortar ambas manos del montante B diseñado en la misma celda.

Se puede pensar en sustituir un Fixture de derechas por uno de izquierdas, para tener un utillaje de cada mano en cada estación. Este hecho supone tener que añadir cuatro contenedores más a la celda ya que las piezas tienen que ir cada una en su contenedor. Además de rediseñar el útil del robot para que permita el grip de ambas manos.

Se podría plantear añadir al robot un séptimo eje para poder realizar la carga y descarga en todos los contenedores, pero la modificación necesaria en la celda se aleja mucho del proyecto realizado.

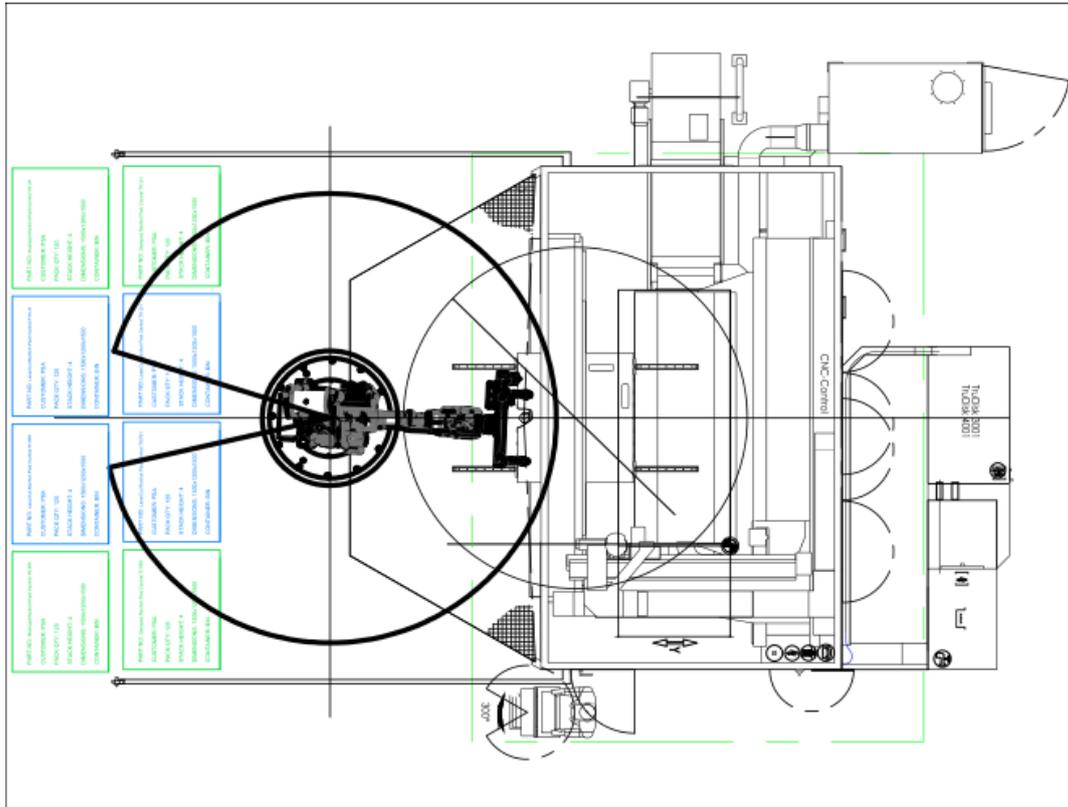


Ilustración 65: Hipótesis ocho contenedores y séptimo eje

Otra solución, sería alternar la producción de izquierdas y derechas en la misma celda.

Para ello sería necesario hacer un diseño del utillaje de corte que permitiera la colocación de piezas izquierdas y derechas. Se puede plantear un reposicionamiento de los pines centradores, ya que la distancia relativa entre ellos es la misma en ambas manos. De la misma manera, se debería poder adaptar la posición de los apoyos para la otra mano.

El modo de operación sería llenar un contenedor de la mano izquierda a la vez que se vacía otro de la misma mano.



Ilustración 66: Configuración contenedores corte LH

En este momento, la configuración de ambos utillajes cambiaría para cortar la mano derecha y el robot cogería piezas del contenedor de derechas.



Ilustración 67: Configuración contenedores corte RH

Mientras se producen derechas, se debería cambiar el contenedor vacío de piezas izquierdas (Cambiando su posición o por programación) y colocar un contenedor lleno de piezas derechas, dejando todo preparado para cuando se acabe de cortar piezas derechas.



Ilustración 68: Cambio de contenedor lleno LH

También se debería rediseñar levemente, el útil del robot para que pudiera hacer grip en ambas manos de pieza.

7.2. PRODUCCIÓN DE OTRA REFERENCIA EN LA CELDA AUTOMATIZADA

También hay que valorar la posibilidad de cortar otra referencia distinta en la misma celda.

Si se planteara cortar otro montante B diferente de otro cliente, por ejemplo, sería necesario adaptar la celda a esta referencia. Existen elementos que no podrán ser sustituidos debido a la necesidad de que la celda ha de ser flexible. Un ejemplo claro, es el robot manipulador. Cualquier modificación que suponga cambiar el robot, o incluso moverlo, hace que por sí misma no sea una opción viable, pues el tiempo y recursos necesarios para ello supone una pérdida de productividad enorme.

Pero es posible realizar cambios en la celda que no supongan la pérdida de mucho tiempo productivo.

Para cortar otra referencia, habría que sustituir el utillaje de corte, el efector final del robot, y los contenedores. Las operaciones de cambio en el interior de la celda, se pueden realizar accediendo desde el lateral de ésta, añadiendo algún sistema de bisagras o similar a la valla de

seguridad que permita abrirla dejando un amplio espacio para la manipulación con carretilla elevadora.

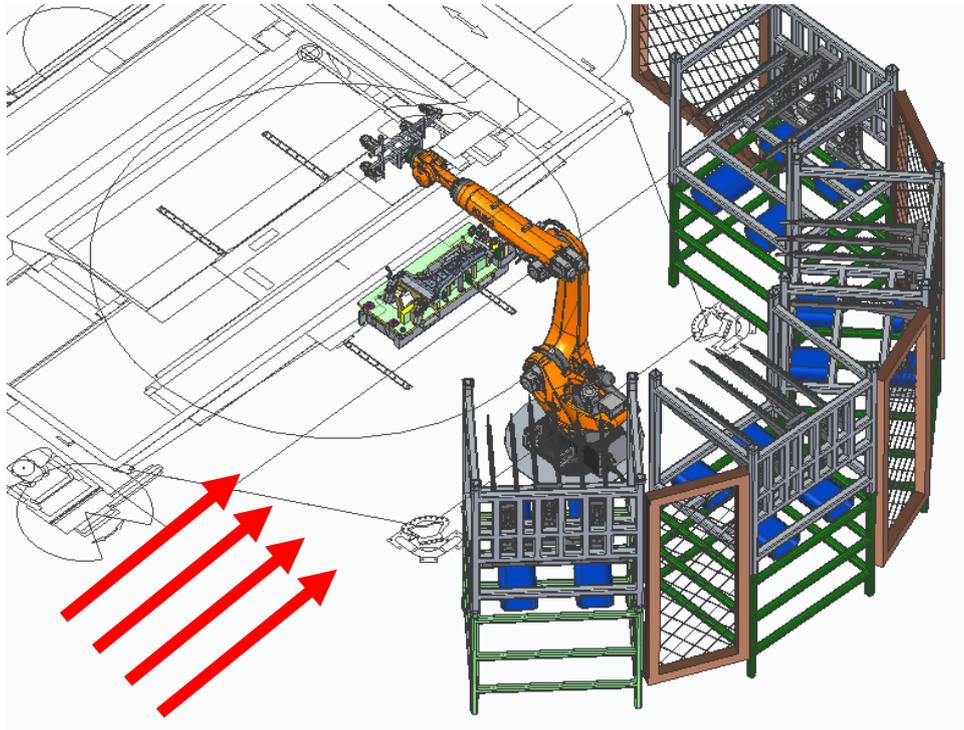


Ilustración 69: Acceso celda para cambio útiles

Por otro lado, los contenedores de la nueva referencia serán colocados en la misma posición que los actuales por el operario logístico.

Por supuesto, será necesario programar la integración de la celda para la nueva referencia.

8. CONCLUSIONES

El proyecto surge de una necesidad real en la empresa. No ha sido posible su implementación en la misma, por lo que el presente trabajo fin de grado se ha enfocado como ejemplo docente del trabajo de diseño mecánico de componentes que interviene en una célula de fabricación flexible para el corte por láser tras la estampación de componentes estructurales del sector de automoción. Faltaría implementar un estudio detallado de costes para su implementación en la empresa, si bien se ha incluido un análisis coherente de la justificación de la célula flexible.

Se ha configurado una célula de fabricación para un montante B diseñado específicamente para el proyecto en el que se han dispuesto características geométricas habituales en el sector. Al tratarse de una célula flexible, está preparada para asumir componentes con modificaciones de diseño, si bien esta circunstancia supone cambios, que quedan reflejados en la sección nº 7 de esta memoria. Una posible mejora sería un rediseño del utillaje de fijación en la mesa de corte y del efector final del robot para que con una pequeña automatización sirviese para ambas manos del montante B.

El trabajo parte de una máquina de corte real que impone una serie de restricciones a la hora de configurar la célula flexible. Estas limitaciones han sido principalmente, los alojamientos de la mesa de la máquina de corte, sobre los que se ha construido la base del utillaje; y también limitaciones de espacio, intentando respetar la zona de carga existente.

Todos los demás elementos se han diseñado con los criterios constructivos habituales en el diseño de los utillajes de posicionamiento de componentes para corte y de los racks de transporte de piezas. En cada sección, se han detallado las necesidades y dificultades observadas en el diseño de los diferentes componentes, centrandolo el trabajo en aquellos que son más característicos del proceso o en los que más factores intervienen.

Muchas de las decisiones tomadas en el trabajo se basan en la experiencia laboral obtenida y la práctica habitual en el sector. El proyecto refleja las características vistas en la empresa, por lo que se considera un buen caso técnico para la formación universitaria.

Para concluir, considero que la realización de este proyecto me ha permitido utilizar los conocimientos adquiridos a lo largo del periodo y las labores que he desempeñado en la empresa, para ayudándome de una herramienta de diseño CAD 3D, reflejarlos en una célula automatizada con elementos muy diferentes que recogen necesidades muy distintas.

9. BIBLIOGRAFÍA

- <https://grabcad.com/>: Pieza base para diseño de CAD de pieza.
- Archivos CAD de MAGNA AUTOMOTIVE SPAIN de la mesa común de las máquinas láser.
- Archivo resumen de MAGNA INTERNACIONAL SPAIN de la demanda semanal de un montante B existente en la empresa.
- <https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/robot-industrial/kr-quantec>
- <https://www.schmalz.com/es/tecnicadevacio-para-la-automatizacion/componentes-de-vacio/garras-especiales/garras-magneticas/garras-magneticas-sgm-hp-ht#product-media-modal>
- <http://www.mantenimientopetroquimica.com/tpm.html>
- https://www.trumpf.com/es_ES/productos/maquinas-sistemas/maquinas-de-corte-por-laser-3d/trulaser-cell-8030/
- Catálogo KUKA (Industrial Robotics – High Payloads)

ANEXO 1: Datos técnicos de la máquina de corte



- Fabricante: TRUMPF
- Modelo: TruLaser Cell 8030

DATOS GEOMÉTRICOS DE LOS EJES:

- Número Máx. De Ejes: 12
- Margen De Desplazamiento Del Eje X 3000 mm
- Margen De Desplazamiento Del Eje Z 600 mm
- Margen De Desplazamiento Del Eje B $\pm 135^\circ$
- Margen De Desplazamiento Del Eje C N X 360°
- Margen De Desplazamiento De La Óptica De Corte Dinámico ± 10 mm

TAMAÑO MÁX. DE LA PIEZA

- Peso Máx. De La Pieza En X 2540 mm
- Peso Máx. De La Pieza En Y 840 mm
- Peso Máx. De La Pieza En Z 370 mm

VELOCIDADES MÁX. DE LOS EJES

- Velocidad Máx. Del Eje Paralelo Al Eje En X 100 m/Min
- Velocidad Máx. Del Eje Paralelo Al Eje En Y 100 m/Min
- Velocidad Máx. Del Eje Paralelo Al Eje En Z 100 m/Min
- Velocidad Máx. Del Eje Simultánea 173 m/Min
- Velocidad Máx. Del Eje B 90 1/min
- Velocidad Máx. Del Eje C 90 1/min

ACELERACIONES MÁX. DE LOS EJES

- Aceleración Máx. Del Eje Paralelo Al Eje En X 10 m/s^2
- Aceleración Máx. Del Eje Paralelo Al Eje En Y 10 m/s^2
- Aceleración Máx. Del Eje Paralelo Al Eje En Z 10 m/s^2
- Aceleración Máx. Del Eje Simultánea $17,3 \text{ m/s}^2$
- Aceleración Máx. Del Eje B 200 Rad/S^2
- Aceleración Máx. Del Eje C 100 Rad/S^2
- Aceleración Máx. Del Eje, Sistema Óptico De Corte Dinámico 40 m/s^2

PRECISIÓN DE POSICIONADO

- Precisión De Posicionado De Ejes Lineales (X,Y,Z) $0,08 \text{ mm}$
- Precisión De Posicionado De Ejes De Giro (B) $0,015^\circ$

RESONADOR LÁSER

- Potencia Láser Máx. 3000 W

ANEXO 2: Código CN del programa de corte

```

N10;B_PILLAR_3_HOLES
N20;----- TruTops Cell  VERSION 9.00
N30;Control Software Version TruLaser Cell 8030 3.0
N40 TC_RESET
N50 G71
N60 TC_USERDYN(4.0,4.0); OVL, ACC
N70 TC_DYNAMIC_LEVEL(0)
N80 TC_OST(5.0)
N90 TC_ADC_ON(10)
N100 TC_FASTLINE_CELL_ON
N110 TC_TRAFO_ON(1)
N120 TC_LASER_REQUEST(1)
N130 SET_G54( 0.00, 0.00, 0.00, 0,0,0 )
N140 F = 173000
N150;GOTOF ENTRY_LASER
N160 TC_TRAFO_OFF
N170 G500
N180 G01 Z = 600.00 F = 173000
N190 G01 B = 0.00 C = 0.00
N200 TC_TRAFO_ON(1)
N210 G54
N220; END_OF_HEADER
N230;===== BLOCK_START 1 =====
N240; LEAD_IN_START
;ENTRY_LASER:
BLOCK_1:
N250 G01 X = 1094.22 Y = 661.08 Z = -63.45 B = -17.81 C = 0.12 F = 173000
N260; LEAD_IN_END
N270 R1 = 1094.22 R2 = 659.58 R3 = -63.45 R4 = -17.81 R5 = 0.12 R9 = 179.90 R11 = 0.00 R26 = 12.00
N280 TC_OBLONG2(12.70,7.70,3.85,1.85,0.50,11,10,100,"ST010MDAIH-0")
TC_DYNAMIC_LEVEL(2)
N290;===== BLOCK_END =====
N300;===== BLOCK_START 2 =====
N310; LEAD_IN_START
;ENTRY_LASER:
BLOCK_2:
N320 G01 X = 1189.26 Y = 657.89 Z = -41.86 B = -12.89 C = 0.19 F = 173000
N330; LEAD_IN_END
N340 R1 = 1189.22 R2 = 655.72 R3 = -41.87 R4 = -12.89 R5 = 0.19 R9 = 178.70 R11 = 0.00 R26 = 12.00
N350 TC_OBLONG2(15.98,9.04,4.52,1.85,0.50,11,10,100,"ST010MDAIH-0")
N360;===== BLOCK_END =====
N370;===== BLOCK_START 3 =====
N380; LEAD_IN_START
;ENTRY_LASER:
BLOCK_3:
N390 G01 X = 1281.61 Y = 653.86 Z = -24.69 B = -8.19 C = 0.28 F = 173000
N400; LEAD_IN_END
N410 R1 = 1281.57 R2 = 651.70 R3 = -24.70 R4 = -8.19 R5 = 0.28 R9 = 178.61 R11 = 0.00 R26 = 12.00
N420 TC_OBLONG2(16.12,9.04,4.52,1.85,0.50,11,10,100,"ST010MDAIH-0")
N430;===== BLOCK_END =====
N440 CIP I1 = 1296.43 J1 = 619.60 K1 = -10.91 X = 1317.77 Y = 584.47 Z = -53.00 B = -5.60 C = 0.21
N450;===== BLOCK_START 4 =====
N460; LEAD_IN_START
;ENTRY_LASER:
BLOCK_4:
N470 G01 X = 1317.77 Y = 584.47 Z = -53.00 B = -5.60 C = 0.21 F = 173000
N480; LEAD_IN_END

```

```

N490 R1 = 1314.93 R2 = 584.46 R3 = -53.28 R4 = -5.60 R5 = 0.21 R11 = 0.00 R26 = 12.00
N500 TC_CIRC2(9.70,1.85,0.50,11,10,100,"ST010MDAIH-0")
N510;===== BLOCK_END =====
N520;===== BLOCK_START 5 =====
N530; LEAD_IN_START
;ENTRY_LASER:
BLOCK_5:
N540 G01 X = 1356.39 Y = 577.74 Z = -50.64 B = 0.00 C = 0.21 F = 173000
N550; LEAD_IN_END
N560 R1 = 1353.54 R2 = 577.72 R3 = -50.64 R4 = 0.00 R5 = 0.21 R11 = 0.00 R26 = 12.00
N570 TC_CIRC2(9.70,1.85,0.50,11,10,100,"ST010MDAIH-0")
N580;===== BLOCK_END =====
N590 CIP I1 = 1360.56 J1 = 592.75 K1 = -10.87 X = 1367.04 Y = 637.71 Z = -13.13 B = 0.00 C = 0.21
N600;===== BLOCK_START 6 =====
N610; LEAD_IN_START
;ENTRY_LASER:
BLOCK_6:
N620 G01 X = 1367.04 Y = 637.71 Z = -13.13 B = 0.00 C = 0.21 F = 173000
N630; LEAD_IN_END
N640 R1 = 1365.69 R2 = 637.70 R3 = -13.13 R4 = 0.00 R5 = 0.21 R11 = 0.00 R26 = 12.00
N650 TC_CIRC2(6.70,1.85,0.50,11,10,100,"ST010MDAIH-0")
N660;===== BLOCK_END =====
N670;===== BLOCK_START 7 =====
N680; LEAD_IN_START
;ENTRY_LASER:
BLOCK_7:
N690 G01 X = 1368.57 Y = 655.51 Z = -13.13 B = 0.00 C = 0.21 F = 173000
N700; LEAD_IN_END
N710 R1 = 1365.72 R2 = 655.50 R3 = -13.13 R4 = 0.00 R5 = 0.21 R11 = 0.00 R26 = 12.00
N720 TC_CIRC2(9.70,1.85,0.50,11,10,100,"ST010MDAIH-0")
N730;===== BLOCK_END =====
N740 CIP I1 = 1408.90 J1 = 684.35 K1 = 1.32 X = 1465.84 Y = 703.78 Z = -36.27 B = -63.72 C = -88.12
N750;===== BLOCK_START 8 =====
N760; LEAD_IN_START
;ENTRY_LASER:
BLOCK_8:
N770 G01 X = 1465.84 Y = 703.78 Z = -36.27 B = -63.72 C = -88.12 F = 173000
N780; LEAD_IN_END
N790 R1 = 1460.84 R2 = 703.59 R3 = -36.21 R4 = -63.72 R5 = -88.12 R9 = 90.76 R11 = 0.00 R26 = 12.00
N800 TC_RECT2(14.70,14.70,1.85,1.85,0.50,11,10,100,"ST010MDAIH-0")
N810;===== BLOCK_END =====
N820;===== BLOCK_START 9 =====
N830; LEAD_IN_START
;ENTRY_LASER:
BLOCK_9:
N840 G01 X = 1504.23 Y = 705.47 Z = -37.14 B = -63.72 C = -88.12 F = 173000
N850; LEAD_IN_END
N860 R1 = 1499.23 R2 = 705.28 R3 = -37.08 R4 = -63.72 R5 = -88.12 R9 = 90.76 R11 = 0.00 R26 = 12.00
N870 TC_RECT2(14.70,14.70,1.85,1.85,0.50,11,10,100,"ST010MDAIH-0")
N880;===== BLOCK_END =====
N890 CIP I1 = 1549.52 J1 = 715.33 K1 = 7.47 X = 1585.28 Y = 646.87 Z = -18.87 B = -3.26 C = -90.00
N900;===== BLOCK_START 10 =====
TC_DYNAMIC_LEVEL(0)
N910; LEAD_IN_START
;ENTRY_LASER:
BLOCK_10:
N920 G01 X = 1585.28 Y = 646.87 Z = -18.87 B = -3.26 C = -90.00 F = 173000
N930; LEAD_IN_END
N940 R1 = 1585.28 R2 = 652.21 R3 = -19.18 R4 = -3.26 R5 = -90.00 R11 = 0.00 R26 = 12.00
N950 TC_CIRC2(14.70,1.85,0.50,11,10,100,"ST010MDAIH-0")
TC_DYNAMIC_LEVEL(2)
N960;===== BLOCK_END =====
N970 CIP I1 = 1635.76 J1 = 650.82 K1 = -3.14 X = 1709.19 Y = 658.48 Z = -21.49 B = 0.00 C = -90.00

```

```

N980;===== BLOCK_START 11 =====
N990; LEAD_IN_START
;ENTRY_LASER:
BLOCK_11:
N1000 G01 X = 1709.19 Y = 658.48 Z = -21.49 B = 0.00 C = -90.00
N1010 TC_LASER_ON(11,"ST010MDAIH-0",10,100)
N1020 G01 X = 1709.69 Y = 657.13 Z = -21.49 B = 0.00 C = -90.00
N1030 CIP I1 = 1709.59 J1 = 656.84 K1 = -21.49 X = 1709.19 Y = 656.63 Z = -21.49 B = 0.00 C = -90.00
N1040; LEAD_IN_END
N1050 CIP I1 = 1706.48 J1 = 658.60 K1 = -21.49 X = 1709.19 Y = 662.33 Z = -21.49 B = 0.00 C = -90.00
N1060 CIP I1 = 1713.70 J1 = 662.87 K1 = -21.49 X = 1719.93 Y = 665.59 Z = -21.49 B = 0.00 C = -90.00
N1070 CIP I1 = 1730.69 J1 = 662.56 K1 = -21.49 X = 1719.93 Y = 653.37 Z = -21.49 B = 0.00 C = -90.00
N1080 CIP I1 = 1715.88 J1 = 655.43 K1 = -21.49 X = 1709.19 Y = 656.63 Z = -21.49 B = 0.00 C = -90.00
N1090; LEAD_OUT_START
N1100 TC_LASER_OFF(3)
N1110 G01 X = 1709.19 Y = 656.63 Z = -9.49 B = 0.00 C = -90.00 F = 173000
N1120; LEAD_OUT_END
N1130;===== BLOCK_END =====
N1140;===== BLOCK_START 12 =====
N1150; LEAD_IN_START
;ENTRY_LASER:
BLOCK_12:
N1160 G01 X = 1722.48 Y = 625.95 Z = -21.49 B = 0.00 C = -90.00
N1170 TC_LASER_ON(11,"ST010MDAIH-0",10,100)
N1180 G01 X = 1722.22 Y = 624.53 Z = -21.49 B = 0.00 C = -90.00
N1190 CIP I1 = 1721.99 J1 = 624.33 K1 = -21.49 X = 1721.53 Y = 624.36 Z = -21.49 B = 0.00 C = -90.00
N1200; LEAD_IN_END
N1210 CIP I1 = 1718.32 J1 = 625.83 K1 = -21.49 X = 1713.11 Y = 626.67 Z = -21.49 B = 0.00 C = -90.00
N1220 CIP I1 = 1711.35 J1 = 627.96 K1 = -21.49 X = 1713.12 Y = 630.37 Z = -21.49 B = 0.00 C = -90.00
N1230 CIP I1 = 1716.62 J1 = 630.75 K1 = -21.49 X = 1721.52 Y = 632.69 Z = -21.49 B = 0.00 C = -90.00
N1240 CIP I1 = 1728.44 J1 = 630.52 K1 = -21.49 X = 1721.53 Y = 624.36 Z = -21.49 B = 0.00 C = -90.00
N1250; LEAD_OUT_START
N1260 TC_LASER_OFF(3)
N1270 G01 X = 1721.53 Y = 624.36 Z = -9.49 B = 0.00 C = -90.00 F = 173000
N1280; LEAD_OUT_END
N1290;===== BLOCK_END =====
N1300 CIP I1 = 1774.52 J1 = 553.82 K1 = 17.42 X = 1857.03 Y = 443.97 Z = 7.58 B = 0.00 C = -90.00
N1310;===== BLOCK_START 13 =====
N1320; LEAD_IN_START
;ENTRY_LASER:
BLOCK_13:
N1330 G01 X = 1857.03 Y = 443.97 Z = 7.58 B = 0.00 C = -90.00 F = 173000
N1340; LEAD_IN_END
N1350 R1 = 1854.53 R2 = 443.97 R3 = 7.58 R4 = 0.00 R5 = -90.00 R9 = 90.00 R11 = 0.00 R26 = 12.00
N1360 TC_RECT2(9.70,9.70,0.00,1.85,0.50,11,10,100,"ST010MDAIH-0")
N1370;===== BLOCK_END =====
N1380;===== BLOCK_START 14 =====
N1390; LEAD_IN_START
;ENTRY_LASER:
BLOCK_14:
N1400 G01 X = 1852.57 Y = 784.39 Z = 7.58 B = 0.00 C = -90.00 F = 173000
N1410; LEAD_IN_END
N1420 R1 = 1855.07 R2 = 784.39 R3 = 7.58 R4 = 0.00 R5 = -90.00 R9 = -90.00 R11 = 0.00 R26 = 12.00
N1430 TC_RECT2(9.70,9.70,0.00,1.85,0.50,11,10,100,"ST010MDAIH-0")
N1440;===== BLOCK_END =====
N1450;===== BLOCK_START 15 =====
N1460; LEAD_IN_START
;ENTRY_LASER:
BLOCK_15:
N1470 G01 X = 1882.41 Y = 803.91 Z = 7.58 B = 0.00 C = -0.00 F = 173000
N1480 TC_SMART_APPROACH(1,"ST010MDAIH-0",100)
N1490 G01 X = IC(3.000) Y = IC(0.000) Z = IC(0.000) B = 0.00 C = -0.00
N1500 TC_SMART_APPROACH(2)

```

N1510 G01 X = IC(7.000) Y = IC(0.150) Z = IC(0.000) B = 0.00 C = -0.00
 N1520 TC_SMART_APPROACH(3)
 N1530 G01 X = IC(-4.000) Y = IC(1.850) Z = IC(0.000) B = 0.00 C = -0.00
 N1540 TC_SMART_APPROACH(4)
 N1550; LEAD_IN_END
 N1560 G01 X = 1888.41 Y = 864.86 Z = 7.58 B = 0.00 C = -0.00
 N1570 G01 X = 1821.20 Y = 864.86 Z = 7.58 B = 0.00 C = -0.00
 N1580 CIP I1 = 1812.15 J1 = 864.86 K1 = 6.56 X = 1799.70 Y = 864.86 Z = 1.07 B = -34.76 C = -0.00
 N1590 CIP I1 = 1794.96 J1 = 864.86 K1 = -2.90 X = 1789.67 Y = 864.86 Z = -10.49 B = -64.58 C = -0.00
 N1600 G01 X = 1768.96 Y = 864.86 Z = -54.07 B = -64.58 C = -0.00
 N1610 CIP I1 = 1766.46 J1 = 864.86 K1 = -57.23 X = 1760.83 Y = 864.86 Z = -59.21 B = 0.00 C = -0.00
 N1620 G01 X = 1740.68 Y = 864.86 Z = -59.21 B = 0.00 C = -0.00
 N1630 G01 X = 1740.68 Y = 817.12 Z = -59.21 B = 0.00 C = -0.00
 N1640 CIP I1 = 1736.02 J1 = 796.63 K1 = -59.21 X = 1714.03 Y = 774.53 Z = -59.21 B = 0.00 C = -0.00
 N1650 G01 X = 1704.77 Y = 770.03 Z = -59.21 B = 0.00 C = -0.00
 N1660 CIP I1 = 1680.65 J1 = 760.61 K1 = -59.21 X = 1642.43 Y = 753.97 Z = -59.21 B = 0.00 C = -0.00
 N1670 CIP I1 = 1536.61 J1 = 748.80 K1 = -59.22 X = 1377.83 Y = 742.25 Z = -59.21 B = 0.00 C = -0.00
 N1680 CIP I1 = 1344.64 J1 = 741.07 K1 = -60.07 X = 1295.05 Y = 739.43 Z = -64.62 B = -7.40 C = -0.00
 N1690 CIP I1 = 1225.98 J1 = 737.37 K1 = -75.84 X = 1124.00 Y = 734.84 Z = -100.65 B = -16.35 C = -0.00
 N1700 CIP I1 = 1113.58 J1 = 736.86 K1 = -103.77 X = 1101.72 Y = 747.63 Z = -107.44 B = -2.56 C = -0.00
 N1710 CIP I1 = 1099.75 J1 = 752.23 K1 = -108.07 X = 1098.60 Y = 759.69 Z = -108.43 B = 7.87 C = -0.00
 N1720 G01 X = 1098.60 Y = 774.84 Z = -108.43 B = 20.38 C = -0.00
 N1730 G01 X = 1093.46 Y = 774.84 Z = -110.09 B = 24.84 C = -0.00
 N1740 CIP I1 = 1090.62 J1 = 774.84 K1 = -110.53 X = 1086.47 Y = 774.84 Z = -109.49 B = 30.79 C = -0.00
 N1750 CIP I1 = 1084.18 J1 = 774.84 K1 = -107.76 X = 1082.03 Y = 774.84 Z = -104.05 B = 36.74 C = -0.00
 N1760 G01 X = 1069.48 Y = 774.84 Z = -61.02 B = 36.74 C = -0.00
 N1770 CIP I1 = 1065.05 J1 = 774.84 K1 = -54.01 X = 1053.38 Y = 774.84 Z = -50.31 B = -8.03 C = -0.00
 N1780 CIP I1 = 1046.47 J1 = 774.84 K1 = -52.93 X = 1040.42 Y = 774.84 Z = -62.05 B = -47.82 C = 0.00
 N1790 G01 X = 1022.08 Y = 774.84 Z = -147.01 B = -47.82 C = 0.00
 N1800 G01 X = 1022.08 Y = 544.54 Z = -147.01 B = -47.82 C = 0.00
 N1810 G01 X = 1040.42 Y = 544.54 Z = -62.05 B = -47.82 C = 0.00
 N1820 CIP I1 = 1044.34 J1 = 544.54 K1 = -54.74 X = 1055.71 Y = 544.54 Z = -50.23 B = 10.18 C = -0.00
 N1830 CIP I1 = 1062.80 J1 = 544.54 K1 = -52.35 X = 1069.48 Y = 544.54 Z = -61.02 B = 61.74 C = -0.00
 N1840 G01 X = 1077.98 Y = 544.54 Z = -90.15 B = 37.50 C = 0.00
 N1850 CIP I1 = 1080.03 J1 = 544.54 K1 = -94.46 X = 1085.36 Y = 544.54 Z = -99.20 B = 27.91 C = 0.00
 N1860 CIP I1 = 1089.88 J1 = 544.54 K1 = -100.74 X = 1096.99 Y = 544.54 Z = -100.22 B = -17.91 C = 0.00
 N1870 G01 X = 1102.14 Y = 544.54 Z = -98.57 B = -17.71 C = 0.00
 N1880 G01 X = 1102.14 Y = 569.71 Z = -98.57 B = -17.64 C = 0.00
 N1890 CIP I1 = 1104.39 J1 = 579.99 K1 = -97.85 X = 1114.73 Y = 591.33 Z = -94.65 B = -16.95 C = 0.00
 N1900 CIP I1 = 1120.39 J1 = 593.67 K1 = -92.95 X = 1129.48 Y = 594.44 Z = -90.27 B = -16.15 C = 0.00
 N1910 CIP I1 = 1194.84 J1 = 587.24 K1 = -73.47 X = 1294.16 Y = 573.84 Z = -55.67 B = -7.53 C = 0.00
 N1920 CIP I1 = 1327.20 J1 = 568.73 K1 = -52.19 X = 1376.89 Y = 560.42 Z = -50.17 B = 0.00 C = -0.00
 N1930 CIP I1 = 1393.59 J1 = 557.45 K1 = -50.15 X = 1418.60 Y = 552.85 Z = -50.19 B = 0.00 C = -0.00
 N1940 CIP I1 = 1426.05 J1 = 551.43 K1 = -50.35 X = 1437.23 Y = 549.33 Z = -50.74 B = 0.00 C = -0.00
 N1950 CIP I1 = 1447.35 J1 = 548.20 K1 = -51.22 X = 1462.59 Y = 548.69 Z = -52.02 B = 3.00 C = -0.00
 N1960 CIP I1 = 1463.61 J1 = 548.82 K1 = -52.03 X = 1465.14 Y = 549.03 Z = -51.95 B = -4.61 C = 0.00
 N1970 CIP I1 = 1466.15 J1 = 549.18 K1 = -51.85 X = 1467.66 Y = 549.44 Z = -51.61 B = -11.68 C = -0.00
 N1980 CIP I1 = 1468.64 J1 = 549.62 K1 = -51.39 X = 1470.10 Y = 549.90 Z = -50.98 B = -17.65 C = 0.00
 N1990 CIP I1 = 1471.06 J1 = 550.11 K1 = -50.66 X = 1472.46 Y = 550.43 Z = -50.09 B = -22.13 C = 0.00
 N2000 CIP I1 = 1473.39 J1 = 550.65 K1 = -49.67 X = 1474.78 Y = 551.01 Z = -49.03 B = -25.50 C = 0.00
 N2010 CIP I1 = 1475.70 J1 = 551.25 K1 = -48.59 X = 1477.06 Y = 551.64 Z = -47.91 B = -27.62 C = 0.00
 N2020 CIP I1 = 1478.85 J1 = 552.18 K1 = -46.97 X = 1481.48 Y = 553.06 Z = -45.49 B = -29.10 C = 0.00
 N2030 CIP I1 = 1484.53 J1 = 554.18 K1 = -43.77 X = 1489.16 Y = 556.15 Z = -41.52 B = -24.05 C = 0.00
 N2040 CIP I1 = 1490.19 J1 = 556.64 K1 = -41.08 X = 1491.75 Y = 557.39 Z = -40.45 B = -20.48 C = 0.00
 N2050 CIP I1 = 1495.71 J1 = 559.23 K1 = -39.25 X = 1502.01 Y = 561.62 Z = -38.49 B = 0.00 C = 0.00
 N2060 CIP I1 = 1515.53 J1 = 564.80 K1 = -38.49 X = 1536.34 Y = 564.98 Z = -38.49 B = 0.00 C = 0.00
 N2070 G01 X = 1606.58 Y = 556.16 Z = -38.49 B = 0.00 C = 0.00
 N2080 CIP I1 = 1640.12 J1 = 548.27 K1 = -38.49 X = 1685.44 Y = 523.70 Z = -38.49 B = 0.00 C = 0.00
 N2090 G01 X = 1715.28 Y = 500.74 Z = -38.49 B = 0.00 C = 0.00
 N2100 CIP I1 = 1734.89 J1 = 478.91 K1 = -38.49 X = 1746.73 Y = 436.84 Z = -38.49 B = 0.00 C = 0.00
 N2110 G01 X = 1746.73 Y = 374.56 Z = -38.49 B = 0.00 C = 0.00
 N2120 G01 X = 1766.88 Y = 374.56 Z = -38.49 B = 0.00 C = 0.00
 N2130 CIP I1 = 1773.42 J1 = 374.56 K1 = -36.99 X = 1780.43 Y = 374.56 Z = -29.93 B = -64.58 C = 0.00

N2140 G01 X = 1789.67 Y = 374.56 Z = -10.49 B = -64.58 C = 0.00
N2150 CIP I1 = 1790.22 J1 = 374.56 K1 = -9.43 X = 1791.13 Y = 374.56 Z = -7.89 B = -58.28 C = 0.00
N2160 CIP I1 = 1791.78 J1 = 374.56 K1 = -6.89 X = 1792.82 Y = 374.56 Z = -5.44 B = -52.24 C = -0.00
N2170 CIP I1 = 1793.57 J1 = 374.56 K1 = -4.51 X = 1794.75 Y = 374.56 Z = -3.17 B = -46.48 C = -0.00
N2180 CIP I1 = 1795.58 J1 = 374.56 K1 = -2.32 X = 1796.89 Y = 374.56 Z = -1.10 B = -40.99 C = 0.00
N2190 CIP I1 = 1798.74 J1 = 374.56 K1 = 0.40 X = 1801.72 Y = 374.56 Z = 2.37 B = -30.71 C = -0.00
N2200 CIP I1 = 1809.15 J1 = 374.56 K1 = 5.71 X = 1821.20 Y = 374.56 Z = 7.58 B = 0.00 C = -90.00
N2210 G01 X = 1888.41 Y = 374.56 Z = 7.58 B = 0.00 C = -90.00
N2220 G01 X = 1888.41 Y = 619.71 Z = 7.58 B = 0.00 C = -90.00
N2230 G01 X = 1888.41 Y = 805.91 Z = 7.58 B = 0.00 C = -90.00
N2240; LEAD_OUT_START
N2250 TC_LASER_OFF(3)
N2260 G01 X = 1888.41 Y = 805.91 Z = 19.58 B = 0.00 C = -90.00 F = 173000
N2270; LEAD_OUT_END
N2280;===== BLOCK_END =====
N2290; END_OF_PROGRAM
N2300 TC_RESET
N2310 TC_LASER_OFF(2)
N2320 M02
ENDE_PROGRAMM

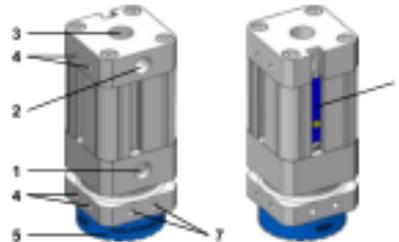
ANEXO 3: Datos técnicos garra magnética Schmalz

SGM-HP / SGM-HT-HP



Construction de l'aimant de levage

Pos	Designation
1	Raccord d'air comprimé "détacher"
2	Raccord d'air comprimé "saisir"
3	Raccord mécanique - central
4	Raccord mécanique - latéral
5	Anneau de friction seulement ...HP, ... HT optional
6	Captur (optionnel) seulement SGM-HP
7	Connexion des éléments de prise en charge



Construcción de ventosa magnética

Pos	Designation
1	Conexión de aire comprimido "despegar"
2	Conexión de aire comprimido "saisir"
3	Conexión mecánica - central
4	Conexión mecánica - lateral
5	Anillo de fricción sólo ...HP, ... HT optional
6	Sensor (opcional) sólo SGM-HP
7	Integración de elementos de alojamiento

Caractéristiques techniques

Datos técnicos

Type	Modelo	SGM-HP				SGM-HT-HP			
		20	30	40	50	30	40	50	
Moyen de fonctionnement	Medio de servicio	Air ou gaz neutre, filtré 40 µm, lubrifié ou non, qualité d'air comprimé classe 7-4-1, conforme à ISO 8573-1 / Aire o gas neutro, filtrado a 40 µm, aceitado o sin aceitar, calidad del aire comprimido 7-4-1 según ISO 8573-1							
Force de prise pour tôles ≥ 0,5 mm avec / sans anneau de friction	Fuerza de retención ≥ para chapa de 0,5 mm con / sin anillo de fricción	[N] ¹	13/21	30/34	46/52	65/72	28"/32	40"/52	58"/65
Force de prise pour tôles ≥ 0,7 mm avec / sans anneau de friction	Fuerza de retención ≥ para chapa de 0,7 mm con / sin anillo de fricción	[N] ¹	16/28	46/55	63/78	96/102	44"/52	60"/78	88"/94
Force de prise pour tôles ≥ 1 mm avec / sans anneau de friction	Fuerza de retención ≥ para chapa de 1 mm con / sin anillo de fricción	[N] ¹	17/32	72/95	100/125	162/167	60"/60	95"/120	145"/150
Force de prise pour tôles ≥ 2 mm avec / sans anneau de friction	Fuerza de retención ≥ para chapa de 2 mm con / sin anillo de fricción	[N] ¹	16/25	95/130	210/290	290/415	83"/120	188"/260	256"/330
Force de prise max. avec / sans anneau de friction...	Fuerza de retención max. con / sin anillo de fricción...	[N] ¹	19/28	95/130	235/320	385/560	83"/120	213"/290	358"/520
... pour épaisseur de tôle:	... con grosor de chapa:	[mm]	1	2	4	6	2	4	6
Force latérale à sec	Carga transversal con pieza seca	[N] ²	9	35	85	110	—	—	—
Force latérale huileuse	Carga transversal con pieza aceitada	[N] ²	9	25	60	70	—	—	—
Force de prise résiduelle	Fuerza residual de retención	[N] ¹	≤ 0,3						
Pression de service idéale	Presión operativa ideal	[bar]	2,5 – 6,0						
Mode de fonctionnement	Modo de funcionamiento		Bistable / Bistabil						
Température ambiante	Temperatura ambiente	[°C]	5 ... 70				max. 150		
Température de contact	Temperatura de contacto	[°C]	max. 70				max. 350*		
Poids propre	Peso	[g]	81	215	415	770	212	410	766
Poids minimum de la pièce avec / sans anneau de friction	Peso mínimo de la pieza con / sin fricción ring	[g]	30/30	36/50	30/130	30/470	—/50	—/130	—/470

¹ Toutes les forces de prise sont statiques et sans sécurité pour une occupation totale de la surface active du préhenseur sur une tôle d'acier S235 à +20 °C, sans éléments de prise en charge

² Tôles 2 mm avec anneau de friction.

* Température maximale de la pièce à usiner 350°C (dépendant des conditions de processus) ; sous l'influence de la température, la base des forces de maintien peut atteindre 30%.

** Valeurs avec disque de friction en option.

¹ Todas las fuerzas de sujeción estáticas y sin seguridad con ocupación completa de la superficie efectiva de la ventosa sobre chapa de acero S235 a +20 °C, sin elementos de alojamiento

² Chapa de 2 mm con anillo de fricción.

* Utilizar hasta una temperatura máxima de 350°C en la pieza de trabajo (dependiente de las condiciones del proceso). La fuerza de retención puede ser disminuida por la temperatura hasta en un 30%.

** Valores con opción anillo de fricción.

i L'augmentation de la température d'utilisation entraîne une diminution de la force de préhension du préhenseur. Il est recommandé de procéder à des essais avant un usage prolongé.

i Les valeurs indiquées sont valables pour des surfaces propres et lisses de tôles en acier pauvres en carbone. Des tôles en acier embossées, rugueuses et contenant une plus forte proportion d'alliages réduisent la force de préhension.

i Afin d'obtenir une force de préhension maximale, le composant à manipuler doit couvrir la totalité de la surface de préhension. En raison de la conception intérieure du préhenseur, il n'est pas possible de saisir en leur milieu des pièces plus petites que la surface de préhension.

i Con el aumento de la temperatura de uso, la fuerza de retención de las garras se reduce. Antes del uso continuado, se recomienda hacer pruebas.

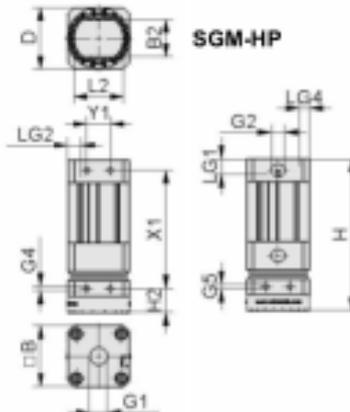
i Los valores indicados tienen validez para superficies limpias y lisas de chapas de acero bajas en carbono. Las chapas de acero sucias, rugosas o aleadas reducen la fuerza de retención.

i Para conseguir la máxima fuerza de retención, la pieza a manipular debe cubrir la superficie de agarre completa. Por la estructura interna de la garras no es posible agarrar de forma centrada las piezas de menor tamaño que la superficie de agarre.

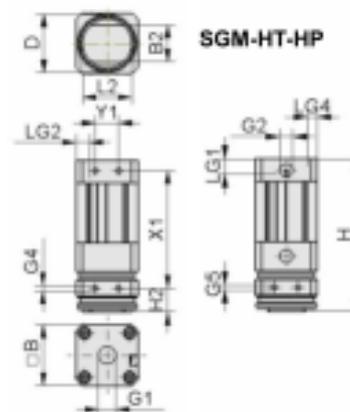
SGM-HP / SGM-HT-HP



Dimensions



Dimensiones



Type / Modelo	B	H	D	L2	B2	H2	G1	LG1	G2	LG2	G4	LG4	G5	X1	Y1
SGM-HP 20	20	78,2	20	12	9,1	12,7	G1/8-IG	6	M5-IG	5,5	M3-IG	4	M3-IG	55	6,5
SGM-HP 30	30	96,4	30	20,5	15	15,7	G1/8-IG	6	G1/8-IG	7	M4-IG	5	M4-IG	74	12
SGM-HP 40	40	96,4	40	32	24,2	15,7	G1/4-IG	9	G1/8-IG	6	M4-IG	5	M4-IG	74	12
SGM-HP 50	50	123,4	50	41,5	31,2	15,7	G1/4-IG	10	G1/8-IG	6	M5-IG	6,5	M4-IG	100	15
SGM-HT-HP 30	30	96,2	25,9	20,5	15	15,5	G1/8-IG	6	G1/8-IG	7	M4-IG	5	M4-IG	74	12
SGM-HT-HP 40	40	96,2	38,4	32	24,2	15,5	G1/4-IG	9	G1/8-IG	6	M4-IG	5	M4-IG	74	12
SGM-HT-HP 50	50	123,2	48,4	41,5	31,2	15,5	G1/4-IG	10	G1/8-IG	6	M5-IG	6,5	M4-IG	100	15

Installation et fonctionnement

⚠ AVERTISSEMENT

Le préhenseur magnétique contient un aimant permanent.

Danger pour les personnes ayant un stimulateur cardiaque

Domages des appareils électroniques

- ▶ Tenir hors de la zone de travail (Distance minimale: 200 mm).
- ▶ Le matériel électronique doit être blindé

Observez les consignes suivantes afin de garantir la sécurité de l'installation et d'éviter des pannes de fonctionnement :

- Vérifiez que le produit ne présente pas de défauts apparents tels que des fissures dans le carter et qu'il ne manque pas de vis, capuchons ou joints.
- Les câbles électriques, les conduites pneumatiques et les conduites de vide doivent être branchés au produit de façon permanente et vous devez vous assurer de leur bonne fixation.
- Mettez le produit hors tension et hors pression et verrouillez-le contre tout risque de remise en service involontaire.
- Un facteur de sécurité de $S = 3$ doit être appliqué en présence de systèmes conçus avec des préhenseurs magnétiques SGM!
- Pour la fixation latérale, utiliser exclusivement le système de retenue (accessoire) de Schmalz.



La garantie expire en cas de montage incorrect, l'exploitation en dehors des limites de la performance et des modifications non autorisées ou des modifications du produit.

Commande

Le préhenseur a été conçu pour permettre la commande par air comprimé. La pression doit être appliquée pendant au moins 1,0 seconde afin de garantir une commutation sûre.

Fonctionnement du préhenseur magnétique à l'aide de deux conduites d'air comprimé. Les raccords du préhenseur sont alimentés alternativement par la pression afin de permettre la commande de l'aimant ; le raccord complémentaire correspondant est ventilé.

Le préhenseur magnétique fonctionne de façon bistable (la dernière commande de commutation utilisée est conservée).

Air comprimé au raccord [1] → détachement de la pièce

Air comprimé au raccord [2] → préhension de la pièce

Instalación y Funcionamiento

⚠ ADVERTENCIA

Las garras magnéticas contienen un imán permanente

Peligro para personas con marcapasos

Daño de dispositivos electrónicos

- ▶ Mantener fuera del área de operación (Distancia mínima: 200 mm).
- ▶ El equipo electrónico debe estar blindado

Para que la instalación sea segura y el funcionamiento no tenga fallos, se deben observar y respetar los siguientes modos de comportamiento:

- Compruebe el producto en cuanto a deficiencias obvias, como grietas en la carcasa o falta de tornillos, tapas o juntas.
- Las conexiones eléctricas, neumáticas y de vacío se deben conectar y asegurar de forma permanente al producto.
- Desconecte la tensión y la presión del producto y asegúrelo contra una conexión involuntaria.
- Para el dimensionamiento de sistemas con garras magnéticas SGM se ha de aplicar un factor de seguridad de $S = 3$.
- Utilizar únicamente el sistema de soporte de SCHMALZ para la conexión lateral.



Un montaje incorrecto del producto, el funcionamiento del mismo fuera de los márgenes de potencia y la realización de remodelaciones o modificaciones sobre el mismo por cuenta propia supone la pérdida de los derechos de garantía.

Control

La ventosa está diseñada para el control con aire comprimido.

La presión debe estar establecida durante un mínimo de 1,0 segundos para poder garantizar una commutación segura.

Fonctionnement de las garras magnéticas mediante dos conduites de aire comprimido. Los conectores de las garras se presurizan de forma alternante; la conexión complementaria se ventila en cada caso.

Las garras magnéticas trabajan de forma bistable (se mantiene el último comando de commutación emitido).

Aire comprimido a conexión [1] → Soltar pieza
Aire comprimido a conexión [2] → Agarrar pieza

SGM-HP / SGM-HT-HP



Capteur de surveillance du piston du préhenseur



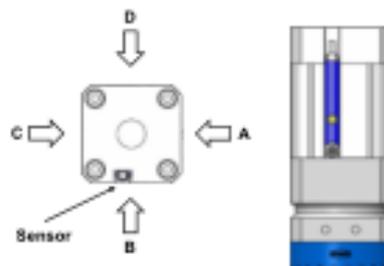
Les préhenseurs magnétiques de la série SGM-HT-HP... ne sont pas prévus pour un fonctionnement du capteur en raison de l'utilisation dans des zones à haute température.

- Protégez le contacteur de toute contrainte mécanique (rupture). Veillez à la décharge de traction du câble de capteur.
- Connectez le contacteur après avoir interrompu l'alimentation électrique et l'alimentation en air.
- Le capteur n'est pas programmé à la livraison.
- Les conditions ambiantes (montage, champs d'interférence magnétiques) sont susceptibles d'influencer le fonctionnement du capteur.
- Par conséquent, le capteur doit être enseigné après l'installation (voir « Apprentissage des points de commutation »).
- Utilisez l'outil d'apprentissage fourni ou une tige en plastique, n'utilisez pas d'outils magnétiques (tournevis, clé six pans creux en acier, etc.).
- Réalisez l'apprentissage du capteur avec la pièce, vous voulez prendre.

Éviter les dysfonctionnements du capteur

Pour garantir un fonctionnement correct du préhenseur et éviter des dysfonctionnements au niveau du capteur, il convient de respecter les consignes de montage suivantes.

- Plaque de fixation, etc. dans une matière non-magnétique (aluminium, plastique...)
- Vérifiez régulièrement que le capteur est bien fixé dans la rainure - cela vaut surtout en cas d'utilisation dans des processus de manipulation rapides et à vibrations.
- Des champs magnétiques puissants peuvent affecter la fonction du capteur. Il est ainsi par exemple nécessaire de vérifier au cas par cas si le capteur peut être utilisé à proximité de postes de soudure.
- Éviter de placer des objets magnétiques dans les environs du capteur, ou les placer à une distance suffisamment éloignée il est nécessaire de respecter les distances minimales indiquées ci-dessous!
- Il convient de contrôler régulièrement et, si nécessaire, de nettoyer les capteurs, les rainures des capteurs et les préhenseurs en cas d'encrassements ferromagnétiques (par ex. limaille de fer).



Sensor de monitorización de la posición del émbolo de la ventosa



Por motivo de su utilización en el rango de altas temperaturas, los gamas magnéticas de la serie SGM-HT-HP... no están concebidas para el funcionamiento con sensores.

- Proteja el interruptor de efectos mecánicos (desprendimiento). Se debe procurar un prensaestopos para el cable del sensor.
- La conexión del interruptor se debe realizar con la alimentación de tensión y de aire desconectada.
- En el estado de suministro, el sensor no está preconfigurado.
- Las condiciones del entorno (montaje, campos de interferencia magnética, etc.) pueden afectar al sensor.
- Por lo tanto, el sensor tiene que ser enseñado después de la instalación. (Véase "Teach-in de los puntos de conmutación").
- Utilice la herramienta Teach-in adjunta o una clavija de plástico, no utilice herramientas magnéticas (destornillador, hexágono interior de acero o similares).
- Enseñe el sensor con la pieza de trabajo, quites tomar

Prevenção de fallos de funcionam. del sensor

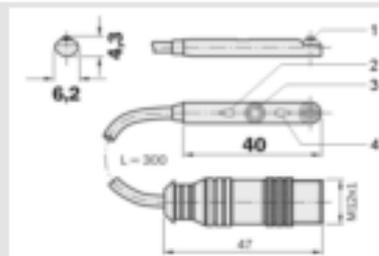
Observe las siguientes indicaciones para el montaje para garantizar el buen funcionamiento de la garrá y evitar fallos en el funcionamiento del sensor

- Placa de fijación o similar de material no magnético (aluminio, plástico...)
- Se ha de comprobar regularmente que el sensor esté sujetado perfectamente en la ranura - esto es particularmente importante en caso del uso en procesos de manipulación rápidos y expuestos a vibraciones.
- Fuertes campos magnéticos pueden afectar al funcionamiento del sensor. Por este motivo, se ha de comprobar por separado en cada caso individual la usabilidad del sensor, por ejemplo, en las inmediaciones de equipos de soldadura.
- Evite la presencia de objetos magnéticos en el entorno del sensor o dispóngalos guardando una separación suficiente. Respete las separaciones mínimas indicadas a continuación
- El sensor, la ranura del sensor y la ventosa se deben comprobar regularmente en cuanto a suciedad ferromagnética (p. ej., virutas de hierro) y se deben limpiar de ser necesario.

Direction / Dirección	SGM-HP			
	20	30	40	50
Distance minimum recommandée / Distancia mínima recomendada	20	20	20	20

Caractéristiques techniques Sensor

Pos	Désignation
1	Vis de fixation
2	LED 2 - déposeur
3	Bouton d'apprentissage
4	LED 1 - saisi



Datos técnicos del interruptor de proximidad

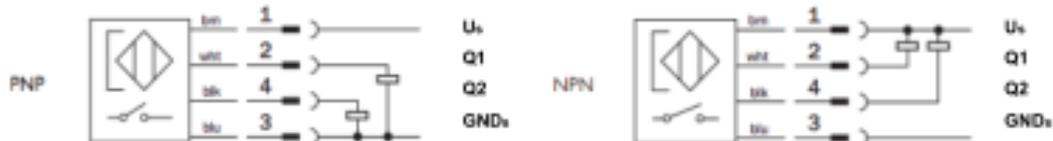
Pos	Désignation
1	Tornillo de fijación
2	LED 2 - deposeur
3	Tecla Teach
4	LED 1 - saisi

SGM-HP / SGM-HT-HP



Raccordement électrique / Conexión eléctrica

Tension d'alimentation U_s / Tensión de alimentación U_s	DC 12...30 V
Sortie de commutation / Salida de conmutación	PNP/NPN
Fonction de sortie / Función de salida	Contact à fermeture / Contacto de trabajo
Câble de raccordement / Cable de conexión	MH2x1 L=0,3m
Type de protection / Tipo de protección	IP 67
Température ambiante / Temperatura ambiente	-20...+75



Connecteur / Conector	Pin	Couleur des brins / Color del conductor	Désignation / Identificación	Affectation PNP / Ocupación PNP	Affectation NPN / Ocupación NPN
	1	Marron / Marrón	U_s	Alimentation / Tensión de alimentación DC	
	2	Blanc / Blanco	Q1	Sortie 1 / Salida 1 (LED 2)	Sortie 2 / Salida 2 (LED 1)
	3	Bleu / Azul	GND_s	Terre / Masa de la tensión de alimentación	
	4	Noir / Negro	Q2	Sortie 2 / Salida 2 (LED 1)	Sortie 1 / Salida 1 (LED 2)

Mise en service du capteur lors du premier montage ou en cas de réajustement requis

Placez le capteur dans la rainure en T, faites-le glisser jusqu'à l'extrémité de la rainure du capteur et vissez-le à l'aide d'un tournevis (couple de serrage : 0,2 +/- 0,05 Nm). Positionner un capteur de tension de service (cf. Données techniques du capteur).

Puesta en marcha del sensor durante el primer montaje o cuando se necesite un reajuste

Coloque el sensor en la ranura en T, deslícelo hasta el extremo de la misma y fíjelo con ayuda de un destornillador (par: 0,2 +/- 0,05 Nm). Aplique tensión de servicio al sensor (véanse Datos técnicos del sensor).

Apprentissage des points de commutation

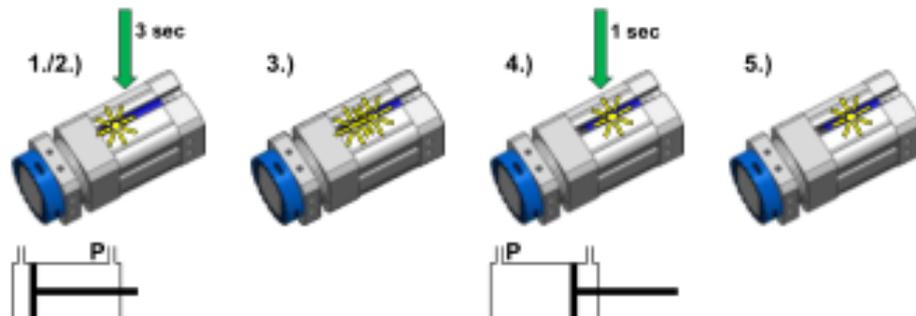
- Contrôler la position du capteur : à l'extrémité de la rainure du capteur. Définir la position du piston pour premier point de commutation avec 1^{ère} saisie.
- Appuyez sur le bouton d'apprentissage pendant 3 s : la LED 1 clignote.
- Relâchez le bouton d'apprentissage : le 1^{er} point de commutation est enregistré (la LED 1 est allumée), la LED 2 clignote. (2^e point de commutation).
- Définir la position du piston pour le 2^e point de commutation (LED 1 s'éteint, la LED 2 clignote).
- Appuyez brièvement sur le bouton d'apprentissage : le 2^e point de commutation est enregistré. (la LED 2 est allumée).

Teach-in de los puntos de conmutación

- Controlar la posición del sensor: En el extremo de la ranura del sensor. Con la chapa agarrada, establezca la posición del sensor para el 1^{er} punto de conmutación.
- Mantenga oprimido el pulsador Teach durante 3 s; el LED 1 parpadeará.
- Suelte el pulsador Teach; el 1. punto de conmutación queda guardado (LED 1 se ilumina), el LED 2 parpadeará (2. punto de conmutación).
- Establezca la posición del pistón para el 2. punto de conmutación (LED 1 se apagará, el LED 2 parpadeará).
- Oprima brevemente el pulsador Teach; el 2. punto de conmutación queda guardado. (LED 2 se ilumina).


 Utilisez l'outil d'apprentissage fourni ou une tige en plastique, n'utilisez pas d'outils magnétiques (tournevis, clé six pans creux en acier, etc.)


 Utilice la herramienta Teach-in adjunta o una clavija de plástico, no utilice herramientas magnéticas (destornillador, hexágono interior de acero o similares).



ANEXO 4: Datos Técnicos Robot KUKA (KR 120 R3100-2)

KUKA



KR 120 R3100-2



Technical data

Maximum reach	3100 mm
Maximum payload	210 kg
Rated payload	120 kg
Rated supplementary load, rotating column / link arm / arm	0 kg / 0 kg / 50 kg
Pose repeatability (ISO 9283)	± 0.05 mm
Number of axes	6
Mounting position	Floor
Footprint	754 mm x 754 mm
Weight	approx. 1105 kg

Axis data

Motion range	
A1	±185 °
A2	-140 ° / -5 °
A3	-120 ° / 168 °
A4	±350 °
A5	±125 °
A6	±350 °
Speed with rated payload	
A1	120 %/s
A2	115 %/s
A3	120 %/s
A4	190 %/s
A5	160 %/s
A6	260 %/s

Operating conditions

Ambient temperature during operation 0 °C to 55 °C (273 K to 328 K)

Protection rating

Protection rating (IEC 60529)	IP65
Protection rating, in-line wrist (IEC 60529)	IP65 / IP67

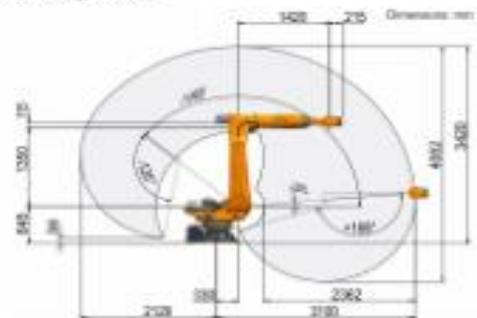
Controller

Controller	KR C4
------------	-------

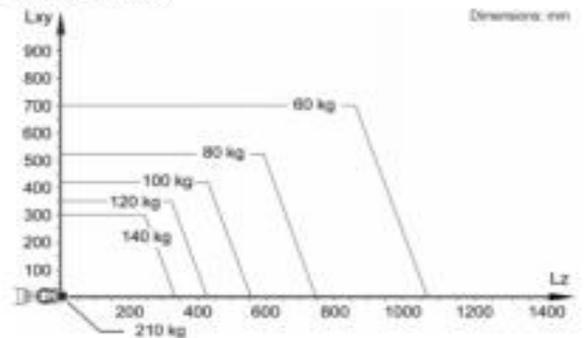
Teach pendant

Teach pendant	KUKA smartPAD-2
---------------	-----------------

Workspace graphic

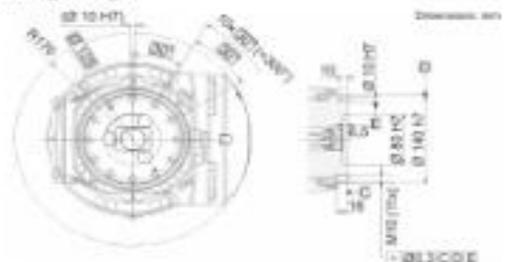


Payload diagram



The KR 120 R3100-2 is designed for a rated payload of 120 kg in order to optimize the dynamic performance of the robot. With reduced load center distances, higher loads up to the maximum payload may be used. The specific load case must be verified using KUKA Load. For further consultation, please contact KUKA Support.

Mounting flange



Details provided about the properties and usability of the products are purely for information purposes and do not constitute a guarantee of these characteristics. The extent of goods delivered and services performed is determined by the subject matter of the specific contract. No liability accepted for errors or omissions.
8006-325-901 / v7.1 | 06.05.2019 | en
KUKA Deutschland GmbH Zugspitzstrasse 140, 89185 Augsburg, Germany; Tel.: +49 821 707-4000; www.kuka-robotics.com