



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Diseño de útiles y mecanismos necesarios para
automatizar el proceso de ensamblaje y montaje de pallets
basado en robots industriales

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Burguera Simarro, Ernesto

Tutor/a: Solanes Galbis, Juan Ernesto

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



Castellano

Título: Diseño de útiles y mecanismos necesarios para automatizar el proceso de ensamblaje y montaje de pallets basado en robots industriales

El presente Trabajo Final de Grado (TFG) tiene por objetivo diseñar los útiles y mecanismos necesarios para la automatización del proceso de ensamblaje y montaje de pallets basado en robots industriales. A partir de las especificaciones técnicas de obligado cumplimiento, el presente trabajo describe las modificaciones a realizar en las actuales líneas para automatizar el proceso. Además, como la solución propuesta utiliza robots industriales, el presente proyecto describe el diseño y proceso de fabricación de los útiles y mecanismos adicionales a incorporar tanto a los efectores finales de los robots como en las líneas de producción involucradas. Por último, el TFG expone un estudio de viabilidad de la solución propuesta.

Con este TFG se trabajarán las siguientes competencias de la titulación: - 26(E): Conocimientos sobre los fundamentos de automatismos y métodos de control. -44 (E) Conocimientos y capacidades para aplicar los fundamentos de la elasticidad y resistencia de materiales al comportamiento de sólidos reales. -48(E): Conocimiento de los principios la regulación automática y su aplicación a la automatización industrial. -61 (E) Capacidad para la redacción, firma y desarrollo de proyectos en el ámbito de la ingeniería industrial que tengan por objeto: la construcción, reforma, reparación, conservación, demolición, fabricación, instalación, montaje o explotación de: estructuras, equipos mecánicos, instalaciones energéticas, instalaciones eléctricas y electrónicas, instalaciones y plantas industriales y procesos de fabricación y automatización. - 64 (G) Capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Industrial. - 66 (G) Capacidad para el manejo de especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento. - 67 (G) Capacidad de analizar y valorar el impacto social y medioambiental de las soluciones técnicas.

Palabras relacionadas: fabricación de pallets; automatización; ensamblaje automático; robótica



Valencià

Títol: Disseny d'útils i mecanismes necessaris per a automatitzar el procés d'assemblatge i muntatge de pallets basat en robots industrials

El present Treball Final de Grau (TFG) té per objectiu dissenyar els útils i mecanismes necessaris per a l'automatització del procés d'assemblatge i muntatge de *pallets basat en robots industrials. A partir de les especificacions tècniques d'obligat compliment, el present treball descriu les modificacions a realitzar en les actuals línies per a automatitzar el procés. A més, com la solució proposada utilitza robots industrials, el present projecte descriu el disseny i procés de fabricació dels útils i mecanismes addicionals a incorporar tant als efectors finals dels robots com en les línies de producció involucrades. Finalment, el TFG exposa un estudi de viabilitat de la solució proposada.

Amb aquest TFG es treballaran les següents competències de la titulació: - 26(E): Coneixements sobre els fonaments d'automatismes i mètodes de control. -44 (E) Coneixements i capacitats per a aplicar els fonaments de l'elasticitat i resistència de materials al comportament de sòlids reals. -48(E): Coneixement dels principis la regulació automàtica i la seua aplicació a l'automatització industrial. -61 (E) Capacitat per a la redacció, signatura i desenvolupament de projectes en l'àmbit de l'enginyeria industrial que tinguen per objecte: la construcció, reforma, reparació, conservació, demolició, fabricació, instal·lació, muntatge o explotació de: estructures, equips mecànics, instal·lacions energètiques, instal·lacions elèctriques i electròniques, instal·lacions i plantes industrials i processos de fabricació i automatització. - 64 (G) Capacitat de resoldre problemes amb iniciativa, presa de decisions, creativitat, raonament crític i de comunicar i transmetre coneixements, habilitats i destreses en el camp de l'Enginyeria Industrial. - 66 (G) Capacitat per al maneig d'especificacions, reglaments i normes d'obligat compliment. - 67 (G) Capacitat d'analitzar i valorar l'impacte social i mediambiental de les solucions tècniques.

Paraules relacionades: fabricació de pallets; automatització; assemblatge automàtic; robòtica



English

Title: Design of tools and mechanisms necessary to automate the process of assembly and assembly of pallets based on industrial robots

The objective of this Final Degree Project (TFG) is to design the necessary tools and mechanisms for the automation of the assembly process of pallets based on industrial robots. Based on the mandatory technical specifications, this paper describes the modifications to be made to the current lines to automate the process. In addition, as the proposed solution uses industrial robots, this project describes the design and manufacturing process of the tools and additional mechanisms to be incorporated both in the final effects of the robots and in the production lines involved. Finally, the TFG exposes a feasibility study of the proposed solution.

With this TFG the following competences of the degree will be worked on: - 26(E): Knowledge of the fundamentals of automation and control methods. -44 (E) Knowledge and abilities to apply the fundamentals of elasticity and resistance of materials to the behaviour of real solids. -48(E): Knowledge of the principles of automatic regulation and its application to industrial automation. -61 (E) Ability to draft, sign and develop projects in the field of industrial engineering that have as their object: the construction, reform, repair, conservation, demolition, manufacture, installation, assembly, or exploitation of: structures, equipment mechanics, energy installations, electrical and electronic installations, industrial installations and plants, and manufacturing and automation processes. - 64 (G) Ability to solve problems with initiative, decision-making, creativity, critical reasoning and to communicate and transmit knowledge, skills, and abilities in the field of Industrial Engineering. - 66 (G) Ability to handle specifications, regulations, and mandatory standards. - 67 (G) Ability to analyse and assess the social and environmental impact of technical solutions.

Related words: pallet manufacturing; automation; automatic assembly; robotics



Agradecimientos

Nunca es tarea sencilla dar las gracias a tantas personas que han contribuido en mi beneficio. Aunque se han escrito muchas palabras de gratitud, en ocasiones el papel no puede plasmar a la perfección tanto afecto y admiración como siento en el término de tan fructífero estudio.

Quiero mostrar mi agradecimiento a mi tutor el profesor Juan Ernesto Solanes Galbis, experto en Ingeniería de sistemas y automática, al igual que al resto de profesores del grado de Ingeniería Mecánica, por brindar sus conocimientos y apoyarme cuando lo he pedido. Asimismo, a la Universitat Politècnica de València, que me ha abierto sus puertas y me ha permitido formar parte de un equipo de profesionales brillantes.

Asimismo, me gustaría agradecer la entrega incondicional de mis padres Ernesto y Ana, quienes han supuesto un antes y un después a lo largo de los cursos del grado, quienes me han ayudado a superar todos los obstáculos, grandes y pequeños, y me han animado a persistir.

Agradecer en especial a mi abuelo José Luís Simarro Badenes, fundador de la empresa *Palets Simarro, S.L.*, gracias al cual he podido aprender, conocer y experimentar de primera mano todos los detalles de la empresa desde que nací y sin él la realización de este trabajo no hubiera sido posible. Además de haberme hecho crecer tanto como persona con sus experiencias y académicamente con sus lecciones, y siendo la primera persona de mi vida la cual me enseñó a leer y escribir.

A mi hermano Álvaro; mis abuelas Santi y Lolita; mis tíos Jesús, Jose Luís y Marilola; a todo mi grupo de amigos tanto de Gandia como Alcoy, y a mi novia Aida; todos ellos por soportarme, motivarme y apoyarme siempre.

El camino hacia la culminación tanto del grado como de mi TFG habría sido mucho más complicado y sinuoso sin el apoyo y la motivación que todos los individuos aquí nombrados. Deseo a todos ellos un próspero futuro, lleno de triunfos profesionales y de grandes riquezas académicas.



CAPÍTULO I

Justificación, objetivos y estructura

Diseño de útiles y mecanismos necesarios para automatizar el proceso de ensamblaje y montaje de pallets basado en robots industriales



CAPÍTULO I · Justificación, objetivos y estructura

1 Contenido

2	Introducción.....	3
2.1	Motivación, justificación y contexto.....	3
2.2	Objetivos.....	3
2.3	Estructura del TFG y memoria	3
3	Bibliografía	5



2 Introducció

2.1 Motivació, justificació y contexto

El título del presente Trabajo de Fin de Grado tal y como se especifica en el resumen, es el de diseño de útiles y mecanismos necesarios para automatizar el proceso de ensamblaje y montaje de pallets basado en robots industriales. Este proceso de fabricación lo llevará a cabo la empresa *Palets Simarro, S.L.* localizada en el municipio de Palmera en la comarca de La Safor en Valencia, la cual distribuye este producto desde 1980 por el fundador José Luis Simarro Badenes, aunque solo desde 1991 como entidad registrada.

A lo largo de los años este negocio se ha expandido mediante la adquisición de más naves industriales para nuevas plantas de producción y abarcando diferentes mercados como el montaje y distribución de embalajes y envases de cartón. Sin embargo, la fabricación y distribución de pallets siempre ha sido su fuente de ingresos principal.

Cabe recalcar que a lo largo del trabajo se empleará la palabra pallet para referirse al producto de la empresa, la cual proviene del inglés. No obstante, palé, palet, o paleta, son términos que se utilizan también para denominarlo, aunque la única grafía reconocida y correcta en español según la RAE es palé. La empresa ha querido mantener el nombre con el plural de palet, palets, debido a un homenaje a la palabra que se ha empleado siempre en esta zona de Valencia para denominar el artículo.

A lo largo de todos estos años el montaje y la fabricación de este producto en la empresa, no ha sido relativamente muy automatizado, debido al obligado uso de pistolas neumáticas de clavos, y la manipulación y transporte de los pallets a lo largo de las cintas transportadoras. Es por ello, que me he visto en la obligación de este tema para el TFG.

2.2 Objetivos

La empresa *Palets Simarro, S.L.* sobre la que se desarrolla este TFG es una de la más influyentes en el sector de pallets de la comarca de La Safor. Apuesta por la mejora continua, y esto se ve reflejado en el presente proyecto, donde se ha podido estar presente y participar activamente en él desde su lanzamiento hasta la situación actual, pudiendo conocer de primera mano el funcionamiento interno de la empresa y el proceso de producción.

Es por eso por lo que en el siguiente TFG se estudiarán y evaluarán las distintas posibilidades para la mayor automatización posible del proceso de fabricación además del diseño de la maquinaria y útiles necesarios, lo cual provocará tanto como una disminución de costes a largo plazo, como una mejor prevención de riesgos laborales y una mayor producción.

2.3 Estructura del TFG y memoria

Para la elaboración del TFG, se documentará todo el proceso mediante una memoria escrita íntegramente por el autor y tutelada por el tutor, con sus respectivas referencias bibliográficas. Esta será redactada y separada por capítulos que la estructurarán, además de sus respectivos anexos con la documentación extra que sea pertinente tales como planos, presupuesto, pliego de condiciones, etc.



En primer lugar, en el Capítulo I se realizará una introducción general en el que se describirán tanto los motivos, objetivos y estructura del trabajo; así como la historia de la empresa y contexto bajo el cual se va a llevar a cabo.

A continuación, en el Capítulo II, se conocerán los antecedentes de la empresa en la fabricación del producto, los cuales se componen por la disposición y funcionamiento actual de los elementos e instalaciones ocupadas en el proceso de fabricación, así como las características principales del artículo a fabricar en este caso el pallet.

Posteriormente, en el Capítulo III, se expondrán las distintas alternativas para tener en cuenta a la hora de seleccionar un método nuevo más optimizado y ajustado para el proceso de fabricación; y se planteará la solución adoptada del problema.

Una vez planteada la solución propuesta, en el Capítulo IV se realizará una selección de materiales habiendo conocido ya la geometría aproximada de la solución y algunas premisas. Además, se seleccionarán algunos componentes que deberán ser adquiridos por proveedores externos.

En el Capítulo V, se dispondrá a realizar el diseño mediante los análisis, simulaciones y cálculos de los mecanismos y componentes necesarios para el montaje de la solución, o por otro lado el análisis del elemento ya patentado existente.

Por último, en el Capítulo VI, se expondrán y analizarán cuáles serán los distintos procesos más recomendados, necesarios para fabricar los componentes de la solución.

Se complementará la información expuesta en la memoria, mediante un anexo que incluya un estudio de viabilidad para la implementación de la solución teniendo en cuenta diversos factores como la fiabilidad, capacidad de producción, costes económicos, amortización y la prevención de riesgos laborales.

Otros anexos que se encontrarán en la entrega final del trabajo serán los modelos 3D de la solución propuesta, fichas técnicas de algunos componentes, los planos de las piezas diseñadas y el pliego de condiciones.



3 Bibliografía

- [1] Real Academia Española, Definición de palé, Consultado el 26/02/2024
<https://dle.rae.es/pal%C3%A9?m=form>



CAPÍTULO II

Antecedentes

Diseño de útiles y mecanismos necesarios para automatizar el proceso de ensamblaje y montaje de pallets basado en robots industriales



CAPÍTULO II · Antecedentes

1 Contenido

2	Índice de ilustraciones	3
3	Estado del arte	4
3.1	Historia	4
3.1.1	Historia del pallet.....	5
3.2	Diseño y estructura del pallet.....	6
3.3	Análisis de antecedentes y mejoras	7
4	Bibliografía	8



2 Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Hiladora Jenny inventada en 1764	4
Ilustración 2. Máquina de vapor siglo XIX	4
Ilustración 3. Tipos de pallet	6
Ilustración 4. Ejemplo de PALET 100x120 9T HT fabricado por PALETS SIMARRO	6
Ilustración 5. Ejemplo de ensamblado en PALETS SIMARRO SL.....	7
Ilustración 6. Emsamblado en banco semiautomático	7

3 Estado del arte

Tal y como se ha ido mencionando a lo largo de la introducción, la principal problemática que se pretende resolver mediante este TFG es la automatización del proceso de fabricación de pallets de la fábrica *Palets Simarro, S.L.*

3.1 Historia

La palabra automatización se define como la acción y efecto de convertir ciertos movimientos de un mecanismo o aparato, para que funcionen en todo o en parte por sí solos.

“La automatización industrial se remonta al siglo XVIII, cuando se comenzaron a utilizar máquinas en la industria textil. Con el tiempo, se fueron desarrollando nuevas tecnologías y sistemas que permitieron la automatización de procesos cada vez más complejos.

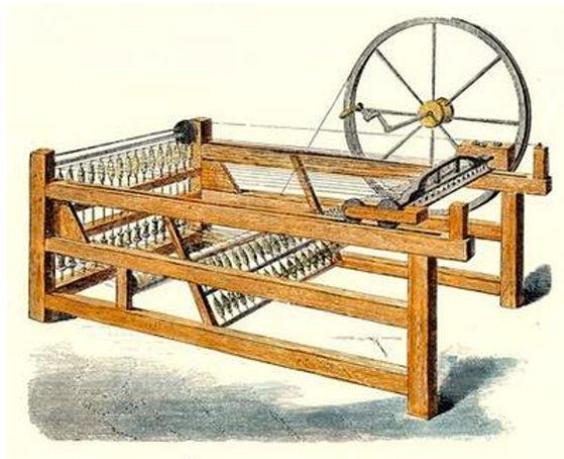


Ilustración 1. Hiladora Jenny inventada en 1764

Uno de los primeros hitos en la evolución de la automatización industrial fue la invención de la máquina de vapor en el siglo XIX, que permitió la automatización de muchos procesos en la industria. Sin embargo, la verdadera revolución llegó en el siglo XX con la introducción de los sistemas electrónicos y la automatización programable [1].”

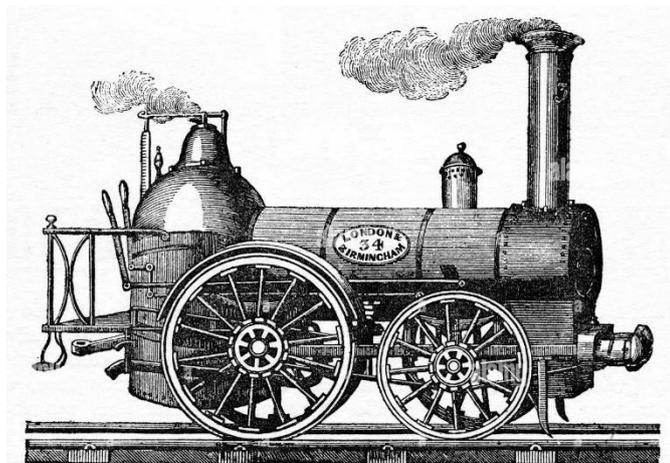


Ilustración 2. Máquina de vapor siglo XIX

3.1.1 Historia del pallet

“Si existe un objeto que forme parte del paisaje industrial de nuestro país ese es el pallet. Cuando hemos ido a un almacén o hemos pasado cerca de una obra en construcción, nos hemos debido topar con ellos. Estamos tan habituados a verlos, que les hemos encontrado utilidad hasta para decorar nuestras casas [2].”

3.1.1.1 Los inicios del pallet

“Que el material más utilizado para construirlo sea la madera no es ninguna casualidad. Se utiliza desde hace muchos siglos como método de embalaje. A esto, ayuda que sea un recurso abundante, que sea relativamente económico y su versatilidad. En los inicios se utilizaban en forma de barril, de caja, de baúl, etc. En el año 1920 apareció un elemento destinado al transporte y almacenaje, el pallet de madera.

El origen del pallet es Estados Unidos; su aparición se produjo en 1925, por la necesidad de facilitar el transporte de mercancías. Cinco años antes, había sido inventada una carretilla elevadora de gran altura, que no difiere demasiado de las que se utilizan hoy en cualquier industria o almacén de almacenaje. Hasta ese momento, la descarga de mercancías, por ejemplo, procedentes de un barco, por ejemplo, podría alargarse a días; sin embargo, con la llegada de la nueva tecnología y de los pallets, este tiempo de descarga se agilizaba de una forma espectacular.

En 1939, Carl Clark diseñó un tipo muy similar a los que se utilizan en la actualidad; un pallet es una plataforma horizontal donde se carga mercancía para ser almacenada, transportada y distribuida. Deben ser compatibles con la maquinaria destinada a este trabajo, como carretillas elevadoras, transpaletas, ... [2].”

3.1.1.2 Beneficios históricos con el uso del pallet

“Como hemos mencionado antes, el desarrollo de los montacargas permitió desarrollar enormemente el transporte y almacenamiento de mercancías, alcanzando grandes beneficios en aspectos como:

- Reducción de los costes de manipulación y posibilidad de una carga y descarga rápida y eficiente. Esto permite, entre otras cosas, aumentar la frecuencia de entradas y salidas a puertos marítimos, estaciones ferroviarias o por carretera.
- Al poder apilarse de forma vertical, es posible almacenar una mayor cantidad de mercancía, de una forma ordenada y segura. Aumentando así la cantidad de productos en stock de una misma empresa.
- La ligereza y resistencia de los pallets aumenta enormemente las posibilidades de transporte y desplazamiento de la mercancía; y disminuye mucho los riesgos de roturas y pérdidas. [2]”

3.2 Diseño y estructura del pallet

Existen diferentes tipos de pallet como se puede observar en la Ilustración 3 dependiendo de las necesidades de los clientes y pueden variar las dimensiones, la geometría, la estructura y los materiales.



Ilustración 3. Tipos de pallet

Es por esto por lo que la organización y método del proceso de ensamblaje de estos difiere según las premisas y características del palet. Sin embargo, en todos los métodos de montaje de los pallets, sin contar los mecanizados de las esquinas o los tratamientos posteriores, coinciden siempre dos tipos de tareas que son la colocación de las maderas y el clavado de estas.

En la Ilustración 4 se puede observar un ejemplo de pallet montado por Palets Simarro.



Ilustración 4. Ejemplo de PALET 100x120 9T HT fabricado por PALETS SIMARRO

3.3 Análisis de antecedentes y mejoras

A lo largo de la historia de la fábrica *Palets Simarro, S.L.* el proceso de ensamblaje de los pallets se ha realizado mediante el uso de cintas transportadoras para el desplazamiento de los pallets, y pistolas neumáticas empleadas por los operarios los cuales también manipulan los pallets y sus componentes de madera en la mayoría de las etapas del proceso, lo cual provoca una excesiva pérdida de tiempo que conlleva una menor producción, además de una prevención de riesgos laborales menos rigurosa de cara a los operarios al estar manejando componentes y herramientas pesadas continuamente en posiciones incómodas con peligro de ser clavados por error.



Ilustración 5. Ejemplo de ensamblado en PALETS SIMARRO SL

Otra forma de fabricar pallets en la fábrica es mediante un banco de clavado semiautomático como se observa en los fragmentos del “vídeo de ejemplo [3]” de la Ilustración 6, que a pesar de la maquinaria que ofrece de volteado automático del palet, el proceso de ensamblado y posicionado de maderas sigue siendo prácticamente realizado por completo por los operarios.



Ilustración 6. Emsablado en banco semiautomático

Por otro lado, los gerentes de la empresa han comunicado su falta de confianza a la hora de encontrar a trabajadores nuevos por causas de jubilación de integrantes antiguos o por bajas, que puedan realizar las labores del ensamblado de los pallets con éxito. Debido a la necesaria experiencia y aprendizaje que se requiere para poder cumplir con la velocidad necesaria del montaje del producto.

Es por eso por lo que para el plan de mejora del ensamblado de los pallets se intentará buscar una manera de disminuir las labores que realizan los operarios, ya sea el clavado o por contrapartida la manipulación de cargas pesadas.



4 Bibliografía

[1] “Manufactura Latam, Noticias, Evolución de la automatización industrial, Consultado el 29/02/2024”

<https://www.manufactura-latam.com/es/noticias/evolucion-de-la-automatizacion-industrial>

[2] “ITEPAL, Historia del palet, Consultado el 29/02/2024”

<https://www.itepal.com/historia-del-palet/>

[3] “Banco semiautomático de clavado de palets COPAMADER, Consultado el 29/02/2024”

<https://youtu.be/j88pdJ6Szc8?si=c1C3L2Baq3hFK3PL>



CAPÍTULO III

Análisis de alternativas

*Diseño de útiles y mecanismos necesarios para automatizar el proceso de
ensamblaje y montaje de pallets basado en robots industriales*



CAPÍTULO III · Análisis de alternativas

1 Contenido

2	Índice de ilustraciones.....	3
3	Análisis de alternativas.....	4
3.1	Robot Ekatechs RN4017	4
3.2	Ekatechs LM3017.....	5
3.3	Clavadora automática de pallets grandes de dos entradas COPAMADER.....	7
4	Descripción de la solución planteada.....	8
4.1	Solución adoptada.....	8
5	Bibliografía.....	11



2 Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Panel de control de apilamiento de RN4017	4
Ilustración 2. Posicionado de tablas y tacos de pallet en RN4017	5
Ilustración 3. Sistema de clavado de RN4017	5
Ilustración 4. LM3017-DS con opción de desapiladora de tacos	6
Ilustración 5. LM3017-DS con opción de desapiladora de tacos	6
Ilustración 6. LM3017-BC con opción de cortadora de perfil de madera	6
Ilustración 7. LM3017 clavadora de tablas.....	7
Ilustración 8. Clavadora automática COPAMADER.....	8
Ilustración 9. Modelo 3D de solución propuesta	8
Ilustración 10. Modelo 3D de ensamblaje de herramienta con la pistola	9
Ilustración 11. Inspiración de solución adopta de Loop Technology	9

3 Análisis de alternativas

Para conocer cuál es la variedad de alternativas en el mercado, se ha realizado una investigación y también se han tanteado propuestas ya existentes ya ojeadas por los gerentes de la empresa que consideraban y conocían en el pasado.

3.1 Robot Ekatechs RN4017

El proveedor de la siguiente alternativa se llama Ekatechs, el cual explica a continuación el funcionamiento de uno de sus robots:

“El sistema robótico de fabricación de pallets RN4017 de Ekatechs ofrece flexibilidad, velocidad y simplicidad absoluta.

El robot paletizador elimina la manipulación de máquinas de clavar que agotan tanto los brazos, así como la pesada elevación manual de pallets y permite trabajar sin demasiada fuerza física, evitando lesiones laborales. Además, no es necesario tener experiencia en robótica, ingeniería o incluso capacitación especial para operar el RN4017. Todos los modos de funcionamiento de distintos pallets se configuran en la interfaz de uso sencillo y se guardan y cargan para su uso posterior, lo que reduce el cambio entre pedidos a solo unos segundos.

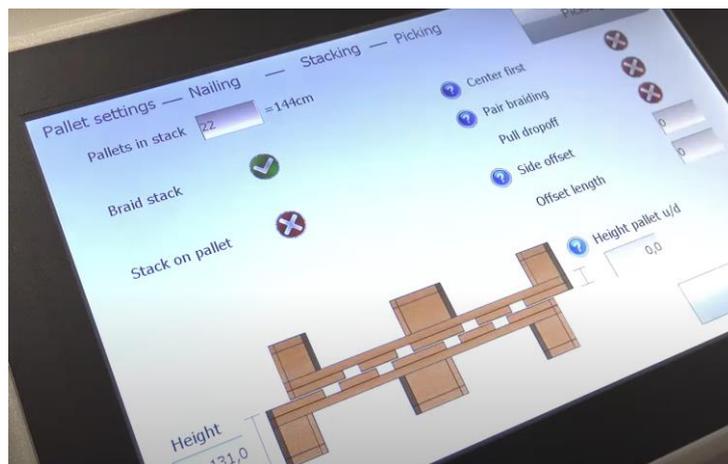


Ilustración 1. Panel de control de apilamiento de RN4017

El punto fuerte del sistema de clavado de pallets robótico de Ekatech es su flexibilidad. Ninguna otra solución hace que sea tan fácil producir pallets totalmente personalizados. Existen infinitas posibilidades para los patrones de clavado, ya que cada clavo se puede colocar libremente y con precisión donde desee. La posibilidad de clavar hasta 6 clavos a la vez agiliza aún más la producción. Larguero, Bloque, 2 vías, 4 vías, pallet perimetral, etc.

El operador coloca manualmente el material del pallet en un lado de la mesa giratoria. Luego, la mesa se convierte en la celda del robot, donde el robot clava el pallet, lo levanta de la mesa giratoria y lo apila dentro de la celda; todo eso, mientras el operador coloca el nuevo material del pallet en el otro lado de la mesa y el ciclo comienza de nuevo [1].”

En la Ilustración 2 se encuentra un ejemplo del posicionado de las maderas de esta alternativa.



Ilustración 2. Posicionado de tablas y tacos de pallet en RN4017

También en la Ilustración 3 se encuentra el sistema de clavado Ekatechs.



Ilustración 3. Sistema de clavado de RN4017

Esta alternativa es una buena opción debido a que se omite totalmente el proceso de clavado y de apilado de los pallets. Sin embargo, el principal problema de esta alternativa es la falta de flexibilidad a la hora de montar pallets de distintos tipos, ya que este va a ser un factor determinante que la empresa ha comunicado, debido a que es uno de los motivos por los que no se ha integrado anteriormente un sistema más automatizado. Esta falta de flexibilidad de este sistema es el gran tamaño del robot que alberga un conjunto muy grande de pistolas organizadas en una estructura que no permite una flexibilidad a la hora del clavado de distintos tipos de pallet.

3.2 Ekatechs LM3017

El mismo proveedor de la alternativa anterior, también nos ofrece una máquina para fabricar las patas del propio pallet por separado y nos la describe de la siguiente manera:

“La máquina automática para fabricar patas o también llamados patines para pallets de Ekatechs LM3017 convence por su velocidad, sencillez y gran flexibilidad.

La serie de clavado de patas de pallets pone fin a la laboriosa manipulación de las máquinas de clavos y la necesidad de un trabajo aburrido y repetitivo. La serie viene con el desapilador robótico de tacos de madera o el cortador de tacos optimizado, para eliminar el manejo manual de bloques que requiere mucho tiempo. [5]”

La máquina con la opción de la desapiladora, desplaza los tacos a la cinta los cuales vienen ya cortados y apilados en un lote preparados para ser clavados a las tablas.

En la Ilustración 4 y 5 se puede observar la secuencia de desafiladora de tacos LM3017-DS.



Ilustración 4. LM3017-DS con opción de desafiladora de tacos



Ilustración 5. LM3017-DS con opción de desafiladora de tacos

Por otro lado, conforme se puede ver en la Ilustración 6, mediante la opción de máquina con cortadora de tacos, se introducirán barras de madera con el perfil de taco deseado para su posterior corte y desplazamiento a la máquina de clavado.



Ilustración 6. LM3017-BC con opción de cortadora de perfil de madera

“La interfaz y el sistema fáciles de usar vienen con innumerables posibilidades de personalización y modos de espacio de almacenamiento para que el cambio entre pedidos sea cuestión de segundos. El LM3017 completa cada lote reduciendo el tiempo de producción no solo para las patas, sino para todo el pallet.

En la estación de ensamblaje del fabricante de patas, el material de bloque lo proporciona el LM3017-DS o el LM3017-BC. Se coloca una tabla sobre un bloque y se clava en su lugar con la cantidad deseada de clavos con una, dos o las tres máquinas clavadoras. Después de clavar el primer bloque en el tablero, la tabla se transporta a la siguiente posición y se coloca un nuevo

bloque debajo de las clavadoras. Esto continúa hasta que todos los bloques estén clavados. Cuando se completa una pata, se aparta a un lote.

La máquina produce patas de pallet continuamente hasta que se llena el almacén intermedio, se completa el lote, la máquina se queda sin material o clavos, o se detiene de alguna otra manera [2].”

El funcionamiento del clavado de esta alternativa se puede observar en la Ilustración 7.



Ilustración 7. LM3017 clavadora de tablas

Esta es una buena alternativa para fabricar los patines o patas del pallet, sin embargo, haría falta más maquinaria para poder completar el ensamblaje del pallet entero. Aun así, es una buena opción para tener en cuenta en caso de que hiciera falta para fabricar las patas.

3.3 Clavadora automática de pallets grandes de dos entradas COPAMADER

Como última alternativa del proceso de fabricación de los pallets, se observa en la Ilustración 8, la clavadora automatizada proporcionada por el proveedor “COPAMADER [6]”, el cual ya ha suministrado maquinaria con anterioridad a la empresa *Palets Simarro, S.L.*

Este proveedor de máquinas de distintas funcionalidades dentro del mundo de la madera y los pallets propone una máquina con dos operarios de los cuales uno coloca las guías sobre las cuales irán las tablas superiores e inferiores del pallet, ya que al ser una máquina para pallets de grandes dimensiones es necesaria esta geometría, y el otro llena la provisiona la clavadora de tablas para que las coloque automáticamente. En YouTube se pueden encontrar imágenes del “funcionamiento [3].”

Sin embargo, una vez más este tipo de máquinas ofrece muy poca flexibilidad a la hora de ensamblar distintos tipos de pallet, debido a las dimensiones muy acotadas y preestablecidas de la máquina.



Ilustración 8. Clavadora automática COPAMADER

4 Descripción de la solución planteada

Como se ha podido observar a lo largo de este apartado, la automatización del proceso de ensamblaje y montaje de pallets es una tecnología que se puede llegar a implementar de multitud de formas según las necesidades de los clientes y la geometría de los pallets.

Sin embargo, muchos de ellos coinciden en tener maquinaria de clavado muy compleja y voluminosa que ocupa mucho espacio en el entorno de trabajo de la fábrica y, además, es la propia fábrica la que se ha de readaptar a estas máquinas, y no las máquinas adaptándose al entorno ya existente. Es por ello por lo que mediante la colaboración de la empresa Universal Robots, y sus robots de distintas categorías según la carga que manejen, se ha llegado a una solución de clavado de pallets mediante el uso de la herramienta o útil que se va a diseñar a continuación y podemos apreciar en la Ilustración 9.

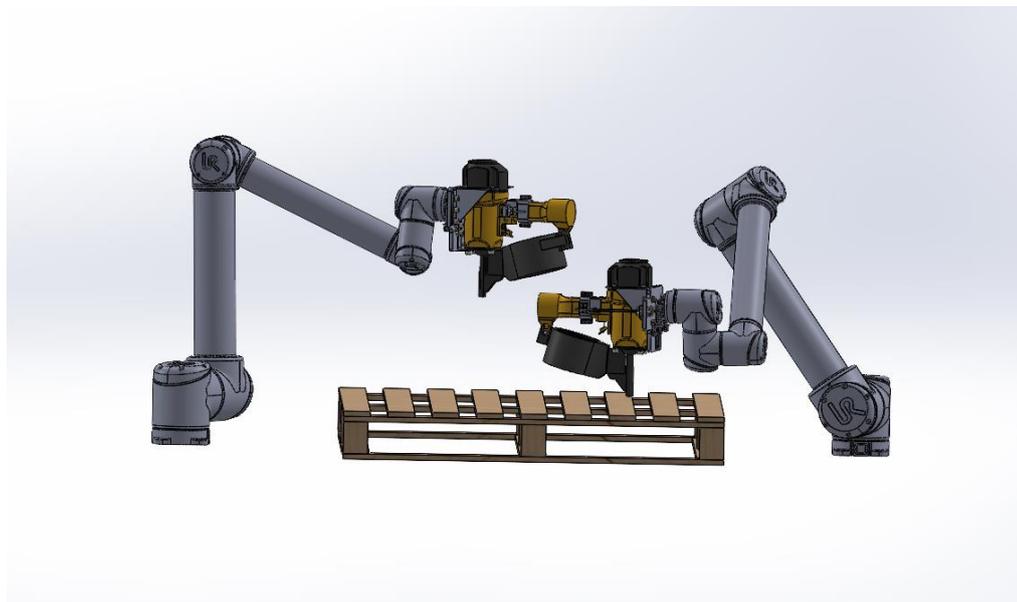


Ilustración 9. Modelo 3D de solución propuesta

4.1 Solución adoptada

Después de cuidadosa consideración y evaluación de varias alternativas, a continuación, se presentará la solución final para la automatización del proceso de ensamblaje de pallets.

Ya que la elaboración completa de un sistema automatizado de ensamblaje de pallets se escaparía de las competencias establecidas para el TFG, la solución propuesta ha sido

principalmente enfocada en el prototipado, diseño y cálculo de la automatización del sistema de clavado de los pallets. Sin embargo, se presentarán las propuestas, modificaciones y cambios a la hora de llevar a cabo el montaje con la línea de ensamblaje completa incorporando la solución propuesta.

La solución final para el clavado del pallet consiste en una herramienta atornillada a uno de los robots de la empresa Universal Robots, la cual sujetará y amortiguará los disparos de la pistola neumática de clavos mientras el robot transporta esta a los puntos de clavado. Un actuador solenoide lineal, activará el gatillo en cada disparo cuando el software de control mande, gracias al modo de disparo secuencial que posee la pistola. Este se situará acoplado al mango de la pistola tal y como se observa en la Ilustración 10.

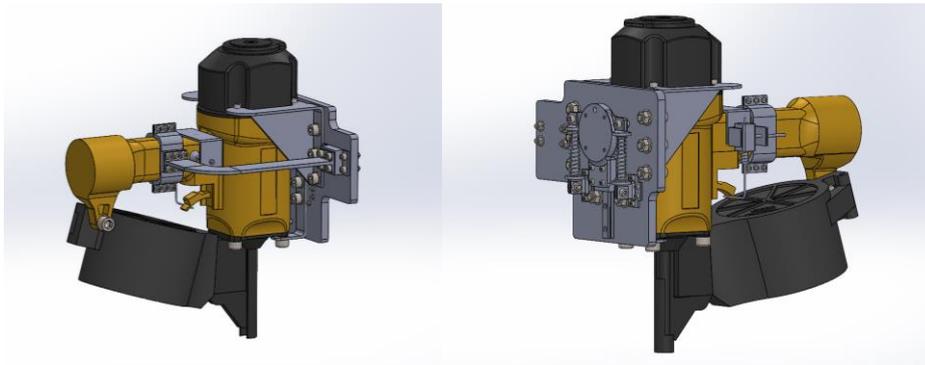


Ilustración 10. Modelo 3D de ensamblaje de herramienta con la pistola

El diseño de esta herramienta ha sido inspirado en la “tecnología de clavado de la empresa británica Loop Technology [4]” de la Ilustración 11. Sin embargo, este clip ha sido la única referencia a mi alcance. Además, tal y como se puede apreciar en la imagen el robot es de unas dimensiones muy aparatosas comparado al de Universal Robots y la pistola es otro modelo la cual dispone de una capacidad muy pequeña.

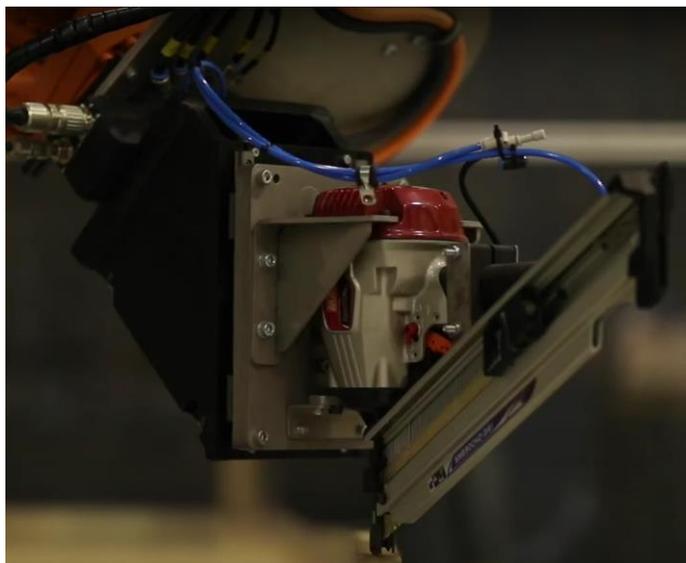


Ilustración 11. Inspiración de solución adopta de Loop Technology

La solución propuesta para la automatización del clavado que he propuesto forma parte de un hipotético conjunto de elementos a incorporar en las líneas. La característica principal más interesante de esta forma de clavado se podría incluir en multitud de posibilidades distintas de



layout de trabajo tales como una línea de ensamblaje con cinta transportadora con distintas estaciones o incluso de clavado semiautomático adaptado para que se puedan distinguir distintas estaciones de operación distinguidas por posicionado de madera y clavado.

Para poder llevarlo a cabo simplemente habría que realizar las pertinentes modificaciones de seguridad para cumplir con la normativa vigente.



5 Bibliografía

- [1] “Ekatechs RN4017 robotic pallet manufacturing system, Consultado el 29/02/2024”
<https://www.ekatech.se/en/products-services/rn4017/>
- [2] “Ekatechs LM3017 automated pallet leg maker, Consultado el 29/02/2024”
<https://www.ekatech.se/en/products-services/lm3017/>
- [3] “Clavadora automática palets grande, Consultado el 29/02/2024”
<https://www.copamader.com/productos/clavadora-automatica-paletsgrande/>
- [4] “Robot nailer in slow motion, Loop Technology Limited, Consultado el 29/02/2024”
<https://www.youtube.com/watch?v=ddwbuhftq6g>



CAPÍTULO IV

Selección de materiales y componentes

Diseño de útiles y mecanismos necesarios para automatizar el proceso de ensamblaje y montaje de pallets basado en robots industriales



CAPÍTULO IV · Selección de materiales y componentes

1 Contenido

1	Contenido	2
2	Índice de ilustraciones	3
3	Índice de tablas	4
4	Cálculo de datos	5
5	Selección de materiales de herramienta	6
5.1	Cálculo de premisas previas	6
5.2	Selección de materiales Granta EduPack	7
5.3	Clasificación de series de aluminio	9
5.4	Conclusiones de selección del material	10
6	Selección de componentes	11
6.1	Selección de robot	11
6.2	Selección de amortiguación	13
6.2.1	Cálculo de fuerza de retroceso de pistola	14
6.3	Selección de sistema de raíl	18
6.3.1	Selección de carril	18
6.3.2	Selección de patín	19
7	Bibliografía	21



2 Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Pistola Bostitch N80CB-1ML-E	5
Ilustración 2. Especificaciones técnicas Pistola Bostitch N80CB-1ML-E	5
Ilustración 3. ETAPA 1: Materiales ordenados por su densidad	7
Ilustración 4. ETAPA 2: Materiales filtrados por una densidad máxima de 7035,92 kg/m ³	7
Ilustración 5. ETAPA 3: Gráfico de materiales con límite elástico mínimo de 109,57 MPa y deformación del 10%	8
Ilustración 6. ETAPA 4: Materiales metálicos restantes.....	8
Ilustración 7. ETAPA 5: Aluminios en gráfico comparativo de densidad y límite elástico	9
Ilustración 8. ETAPA 6: Gráfico comparativo de aluminios por precio y límite elástico	10
Ilustración 9. Propiedades de límite elástico y rigidez de Aluminio 6061 T6	11
Ilustración 10. Usos típicos de aleación de Aluminio 6061 T6	11
Ilustración 11. Curva de carga útil de UR10	12
Ilustración 12. Curva de carga útil de UR20	12
Ilustración 13. Resumen de ficha técnica de UR10	13
Ilustración 14. Croquis de localización de disparos de clavo.....	13
Ilustración 15. Croquis de funcionamiento de mecanismo de pistola neumática de clavos	14
Ilustración 16. Ficha de producto de clavos para pistola seleccionada.....	15
Ilustración 17. Muelle de constante K=7,285 lb/inch.....	17
Ilustración 18. Muelle de constante k=6,30 N/mm.....	17
Ilustración 19. Carril RS Pro 120x12mm	18
Ilustración 20. Patín RS Pro 27x27mm	19
Ilustración 21. Actuador solenoide de 12V de 15 mm	19
Ilustración 22. Sargento de 68 mm para pistola.....	20
Ilustración 23. Sargento de 29 mm para actuador solenoide	20
Ilustración 24. Unión de sargentos.....	20



3 Índice de tablas

Tabla 1. Tabla de velocidades de rotación de las articulaciones de UR10 y UR20	12
Tabla 2. Tabla de dimensiones de sistema de raíl	18

4 Cálculo de datos

En el siguiente apartado se calcularán las fuerzas que actuarán sobre la herramienta durante el uso de esta.

La pistola neumática de la Ilustración 1 que se utilizará, es de la marca BOSTITCH, concretamente el modelo N80CB-1ML-E, con una capacidad máxima de 300 clavos, los cuales, según el proveedor de la marca, asegura que, dependiendo del tamaño de la bobina de clavos, pequeña o jumbo, puede rondar desde 1kg hasta los 2,5kg.



Ilustración 1. Pistola Bostitch N80CB-1ML-E

Las especificaciones técnicas de la pistola se encontrarán en el anexo de la misma, que en resumen son las siguientes de la Ilustración 2:

ESPECIFICACIÓN				
Tipo de potencia	Neumático		Presión de trabajo	4.80 - 7.00 BAR
Peso	3.86 kg			70.00 - 100.00 PSI
Ancho	140 mm		Cons. de aire en it. por disparo a 5.6 bar	2.04
Largo	306 mm		Tipo de ajuste de aire tipo rosca	1/4 BSP
Algo	336 mm		Ruido	LPA 1sd 89.00
Capacidad del cargador (Max.)	300			LWA 1sd 98.60
F Gama de clavos o grapas:				LPA 1s, 1m 85.60
Diámetro (mm)	2.5 (Mín.)	2.8 (Max.)	Vibración / Incertidumbre	3.28 / 1.64 m/s2
Largo (mm)	38 (Mín.)	80 (Max.)		
Cabeza (mm)	6.5 (Mín.)	7.2 (Max.)		
Ángulo de unión	15			

Ilustración 2. Especificaciones técnicas Pistola Bostitch N80CB-1ML-E

de las cuales nos interesan principalmente el peso de 3,86kg y la presión máxima de trabajo de 7 bar, lo cual se traduce en:

$$F_{\text{peso,pistola}} = m \cdot g = 3,86 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 37,87 \text{ N}$$

$$F_{\text{peso,cargador}} = m \cdot g = 2,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 24,53 \text{ N}$$

$$F_{\text{peso,total}} = F_{\text{peso,pistola}} + F_{\text{peso,cargador}} = 37,87 + 24,53 = 62,4 \text{ N}$$

El clavo que se va a utilizar es de la serie F concretamente el modelo F250R64Q de BOSTITCH.

Algunas consideraciones para tener en cuenta a la hora de realizar las simulaciones de software y los análisis es que el peso de la pistola es estático, sin embargo, la fuerza de clavado

se transformará en una reacción en la dirección inversa a la dirección de clavado, es decir fuerza de retroceso, la cual es como una fuerza de impacto.

Por eso habrá que calcular e implementar una amortiguación en el diseño de la herramienta para que pueda absorber la fuerza producida por la fuerza de impacto del disparo.

Por eso tal y como hemos mencionado, realizaremos análisis estáticos teniendo en cuenta el peso de la pistola y, por otro lado, se hará un estudio para el cálculo de la constante de los muelles de la amortiguación. Además, se complementará esta información con análisis de fatiga.

5 Selección de materiales de herramienta

5.1 Cálculo de premisas previas

A continuación, se abordará la selección de materiales con los que se fabricará la herramienta, lo cual es un aspecto crítico en el diseño de esta. Como se sabe, la elección de los materiales adecuados no solo afecta la durabilidad de la herramienta, sino también su rendimiento y eficiencia en el trabajo. En esta sección, se sumergirá en el proceso de selección de materiales considerando cuidadosamente los desafíos y requisitos específicos que se enfrentan. Se dará paso explorando diferentes alternativas de materiales y analizando cómo cada una se alinea con los objetivos de diseño con la ayuda del software de selección y filtración de materiales Granta EduPack.

A la hora de seleccionar el material habrá que tener en cuenta distintos parámetros esenciales como su densidad y su límite elástico.

En cuanto a la densidad, se sabe que la pistola tiene una masa de 6,24 kg, lo cual deja un margen de masa para la herramienta de 3,76 kg, ya que el caso ideal sería poder utilizar el robot UR10 con carga máxima de 10 kg ampliable a 12,5 kg.

Sabiendo mediante SolidWorks que la herramienta posee un volumen de unos 534,40 cm³, se puede calcular la densidad máxima del material que debe tener esta como máximo.

$$d = \frac{m}{V} = \frac{3,76 \text{ kg}}{534,40 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3} = 7035,92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ésta será la densidad máxima de la que podrá disponer la herramienta para poder cumplir con la masa máxima total del conjunto, para que el robot pueda operar con normalidad.

Además, como el elemento estructural más importante del conjunto son las patillas, se ha calculado en el CAPÍTULO V a mano, una aproximación de las tensiones máximas que soportarán estas, las cuales son de 109,57 MPa. Este dato servirá de referencia como límite elástico mínimo que deberá soportar el conjunto de la estructura.

5.2 Selección de materiales Granta EduPack

Comenzaremos por la densidad, y aplicando el filtro de esta propiedad se puede observar en la Ilustración 3 que existe una gran cantidad de distintos materiales a escoger.

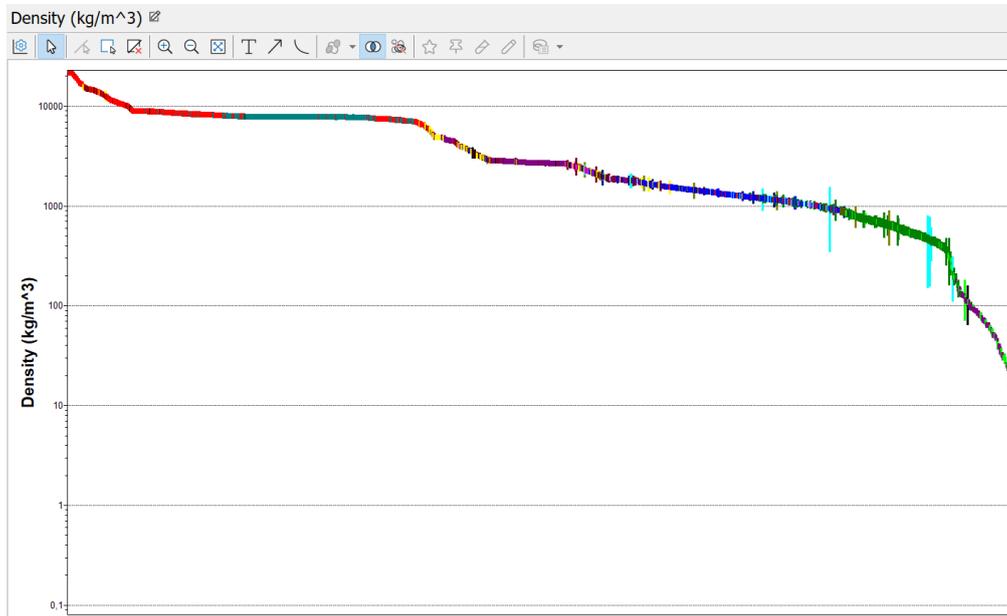


Ilustración 3. ETAPA 1: Materiales ordenados por su densidad

Por tanto, habrá que introducir un máximo de $7035,92 \frac{kg}{m^3}$ como se ve en la Ilustración 4:

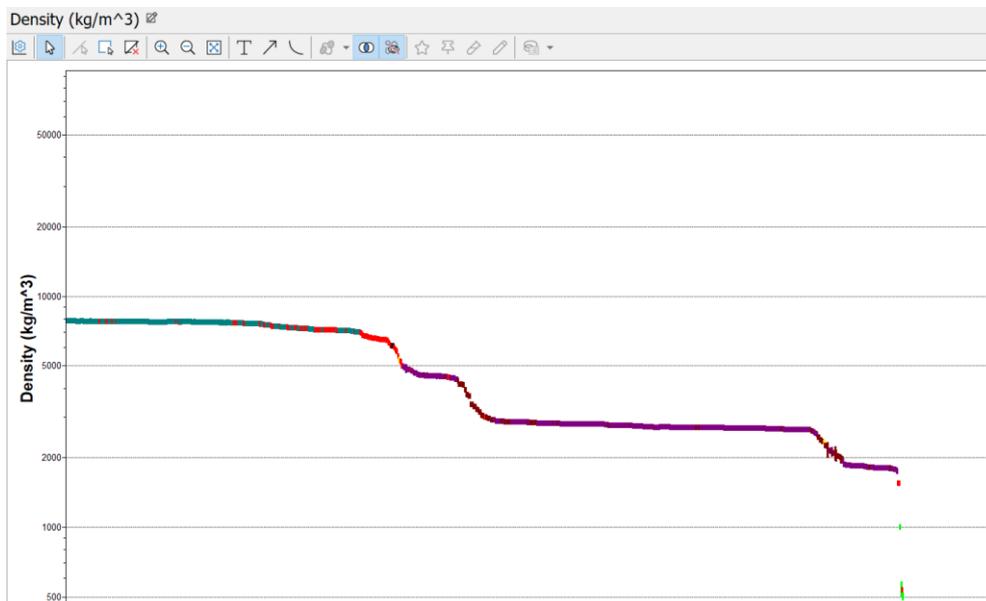


Ilustración 4. ETAPA 2: Materiales filtrados por una densidad máxima de 7035,92 kg/m3

El siguiente paso será introducir que el mínimo límite elástico del material sea de 109,57 MPa, y lo vamos a introducir en un gráfico en el cual estará representado en el eje X.

Con estas dos magnitudes, no es posible seleccionar todavía un material ya que existen muchos materiales con ambas. Además, queremos un material con cierta rigidez, así que vamos a asignar en Ilustración 5 un porcentaje de deformación del 10%.

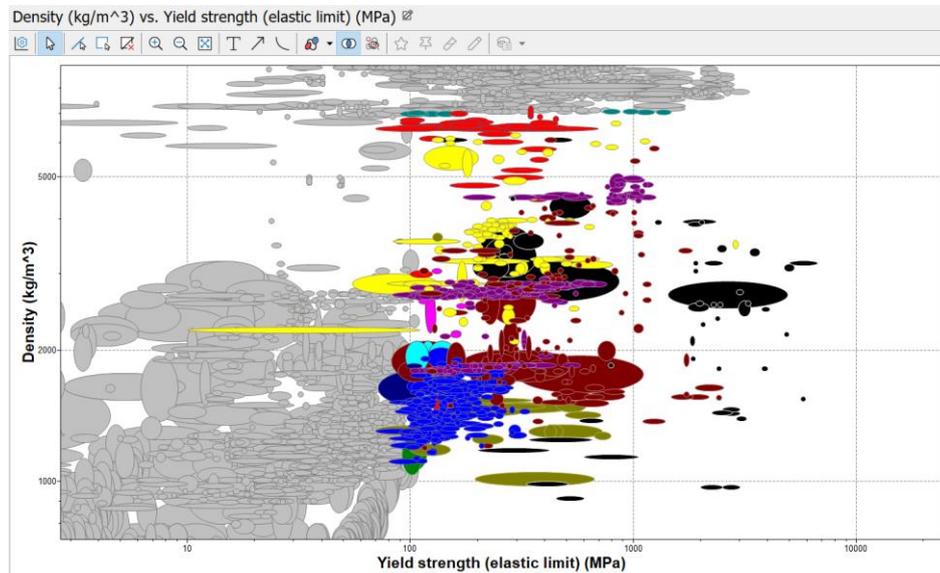


Ilustración 5. ETAPA 3: Gráfico de materiales con límite elástico mínimo de 109,57 MPa y deformación del 10%

La gran mayoría de materiales que vemos en gris anteriores han sido descartados.

Como sabemos que queremos fabricar la herramienta de un material metálico o mediante una de sus aleaciones, vamos a aplicar también ese filtro en el gráfico de la Ilustración 6.

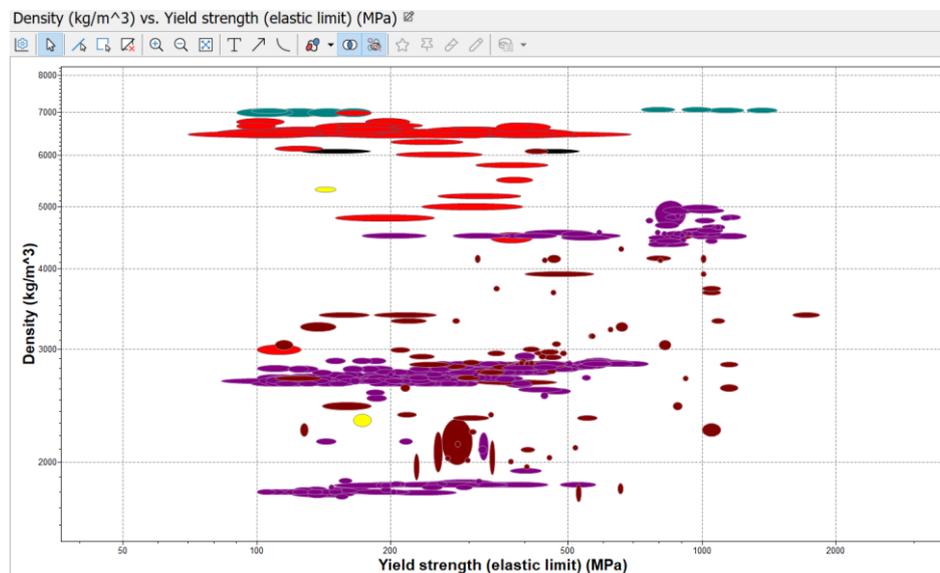


Ilustración 6. ETAPA 4: Materiales metálicos restantes

Tras finalmente introducir un filtro limitando la cantidad de dinero a menos de 10000 euros el metro cúbico del material, la gran mayoría de materiales que quedan son aluminios.

Además, también se ha incluido en el gráfico de la Ilustración 7 que estos materiales sean como mínimo aceptables al conformado en frío o en caliente para el posible conformado de las patillas y de otros elementos similares como el brazo soporte, que muy probablemente se fabriquen con métodos de esta clase.

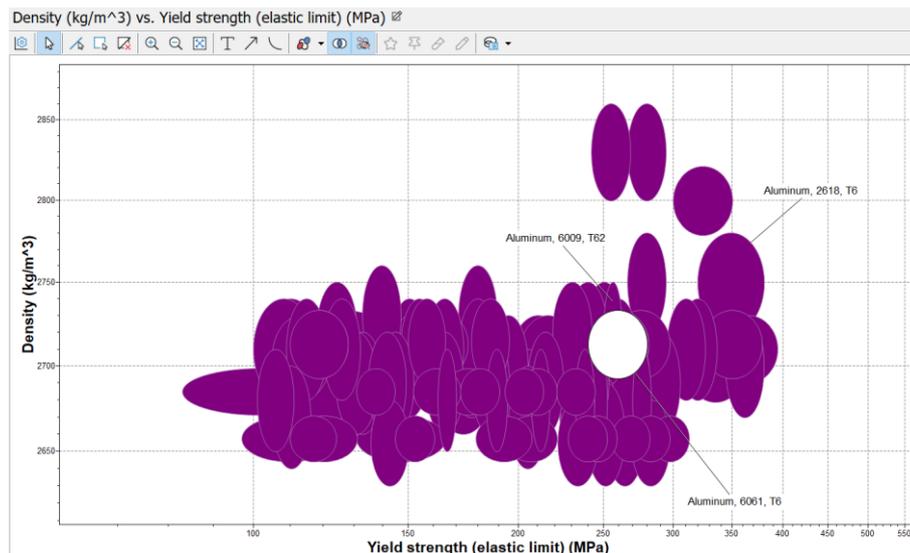


Ilustración 7. ETAPA 5: Aluminios en gráfico comparativo de densidad y límite elástico

5.3 Clasificación de series de aluminio

Como bien se sabe, en la industria del diseño de máquinas, uno de los materiales más comunes a la hora de fabricar elementos, es el aluminio.

“El aluminio es un metal ligero y versátil que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones debido a sus propiedades únicas. Existen diferentes aleaciones de aluminio, cada una diseñada para satisfacer requisitos específicos de rendimiento, las cuales se clasifican en distintas series:

1. **Aluminio puro:** es el material más débil y el tipo más real de aluminio. Para que su resistencia sea mayor, se hacen diferentes tipos de aleaciones con distintos materiales.
2. **Serie 1000:** el aluminio tiene un 99 % de pureza. Tiene una alta resistencia a la corrosión, no es tóxico, tiene un excelente acabado y una excelente maleabilidad.
 - **1100:** Suave y dúctil, utilizado en aplicaciones generales como conductores eléctricos e intercambiadores de calor.
3. **Serie 2000:** el aluminio tiene una aleación de cobre. Tiene una resistencia mecánica alta, junto con la corrosión.
 - **2024:** Alta resistencia y buena maquinabilidad. Utilizado en aplicaciones aeroespaciales, como piezas estructurales y componentes de aeronaves.
4. **Serie 3000:** está aleado con magnesio. Tiene una buena resistencia mecánica y una alta resistencia a la corrosión, además de una buena maleabilidad.
 - **3003:** Resistente a la corrosión, utilizado en la fabricación de recipientes a presión y componentes de sistemas de climatización.
5. **Serie 4000:** la aleación se hace con silicio. Tiene una alta resistencia al calor y se suele utilizar para la fabricación de pistones destinados a motores.
 - **4043:** Buena fluidez durante la soldadura, utilizado en aplicaciones de soldadura fuerte y como material de relleno.

6. **Serie 5000:** la aleación viene dada por magnesio. Tiene una alta resistencia a la corrosión del agua del mar.
 - **5052:** Buena resistencia a la corrosión y formabilidad, utilizado en la construcción naval, carrocerías de vehículos y componentes de aeronaves.
 - **5083:** Alta resistencia a la corrosión en ambientes marinos, utilizado en la construcción naval y en estructuras submarinas.

7. **Serie 6000:** el aluminio viene con una alineación de silicio y magnesio. En este caso, la resistencia mecánica es muy buena, también la resistencia a la corrosión, la soldabilidad es muy buena.
 - **6061:** Buena resistencia y facilidad de soldadura, utilizado en estructuras de ingeniería, componentes de bicicletas y partes de aeronaves.
 - **6082:** Similar a 6061, con mayor resistencia a la corrosión, utilizado en estructuras y componentes de maquinaria.

8. **Serie 7000:** en esta serie, el aluminio tiene una aleación de zinc. Tiene una alta resistencia mecánica. Se suele utilizar para equipos móviles y estructuras de los aviones, teniendo en cuenta otras partes que están forzadas.
 - **7075:** Alta resistencia y dureza, utilizado en aplicaciones aeroespaciales, estructuras de aviones y componentes de alta resistencia.

9. **Serie 8000:** otras aleaciones.
 - **8011:** Buena formabilidad y resistencia a la corrosión, utilizado en envases de alimentos, láminas y componentes de construcción ligera. [1]”

5.4 Conclusiones de selección del material

Para tomar la decisión final de la selección del material con el que se va a fabricar la herramienta se ha realizado una comparativa en el gráfico de la Ilustración 8 con el precio de los aluminios y el límite elástico que poseen.

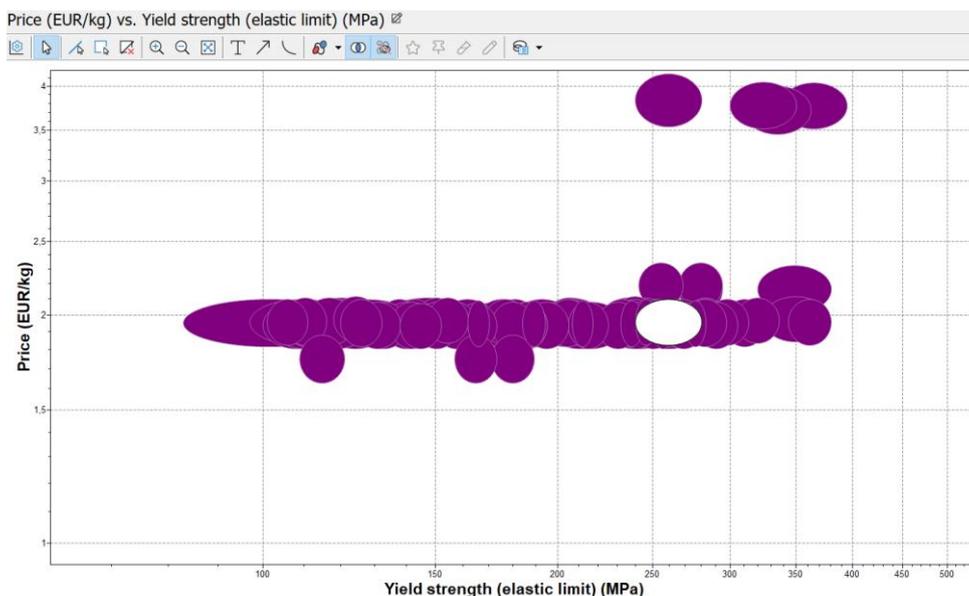


Ilustración 8. ETAPA 6: Gráfico comparativo de aluminios por precio y límite elástico

Dado que la herramienta estará sujeta a cargas y fuerzas durante el uso, es fundamental elegir una aleación que ofrezca resistencia adecuada. La serie 6000 (aleaciones de aluminio-magnesio-silicio) por su combinación de resistencia y facilidad de procesamiento, podría ser una opción adecuada, además de que como se aprecia en el gráfico la relación calidad precio es excelente.

Entre las aleaciones de la serie 6000, la aleación 6061 es ampliamente utilizada debido a su buena resistencia y facilidad de soldadura. Además, la 6061 tiene una buena resistencia a la corrosión.

Es por eso por lo que en este caso se va a seleccionar la aleación de aluminio 6061 T6, la cual hace referencia a la aleación de la serie 6000 con tratamiento de envejecimiento por solución y endurecimiento. En la ilustración 9 se pueden observar algunas propiedades del material.

Specific stiffness	ⓘ	24,5	-	25,8	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	ⓘ	240	-	280	MPa
Yield strength with temperature	ⓘ	281	-	281	MPa

Ilustración 9. Propiedades de límite elástico y rigidez de Aluminio 6061 T6

Por otra parte, el software Granta EduPack también nos proporciona aplicaciones de los distintos materiales, y concretamente, la robótica es una de las aplicaciones del material mencionado antes tal y como se aprecia en la Ilustración 10, lo cual es un factor para tener en cuenta en la selección del material que este se haya visto involucrado en aplicaciones similares con anterioridad para asegurar un buen funcionamiento y durabilidad.

Typical uses ⓘ

Trucks, towers, canoes, railroads cars, furniture, pipelines, and other structural applications where strength, weldability, and corrosion resistance are needed, electric scooters, robotics, mobile/cell phones, smart phones, laptops, tablets, computers, smart watches, fitness trackers, VR headsets, gaming consoles, electric cars, hybrid cars

Ilustración 10. Usos típicos de aleación de Aluminio 6061 T6

6 Selección de componentes

6.1 Selección de robot

Alguna información técnica para tener en cuenta es la carga que es capaz de mover el robot UR10 escogido para el clavado y manipulación automatizada de la herramienta.

La forma ideal para trabajar con estos robots es que cada individuo realice el clavado hasta la mitad del pallet, siendo apoyado este por otro robot igual con el mismo funcionamiento coordinados, o mediante el soporte de una línea transportadora o banco giratorio. Esto es debido a que la carga admisible disminuye según nos alejamos de la base. Como esta herramienta es un prototipo, habría que realizar ensayos con los brazos robot UR10, UR16 y UR20, para determinar qué brazo robot cumpliría con mayor velocidad y seguridad el clavado y manipulación de la pistola.

Sin embargo, el diseño de la herramienta no cambia en ningún caso, ya que simplemente habría que adaptar la tornillería y dimensiones del panel redondo de anclaje al robot.

En la Ilustración 11 se observa cómo evoluciona la carga permitida manejada por el robot UR10 según se aleja esta del centro de la base de este.

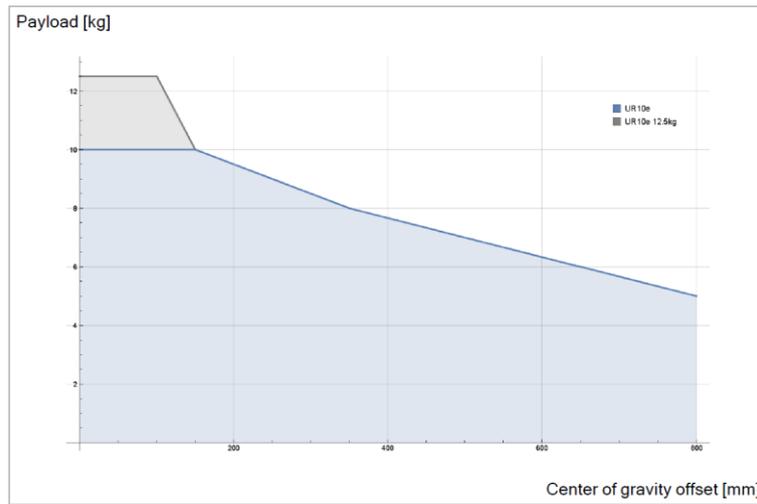


Ilustración 11. Curva de carga útil de UR10

Y en la Ilustración 12, se aprecia la curva de carga del robot UR20:

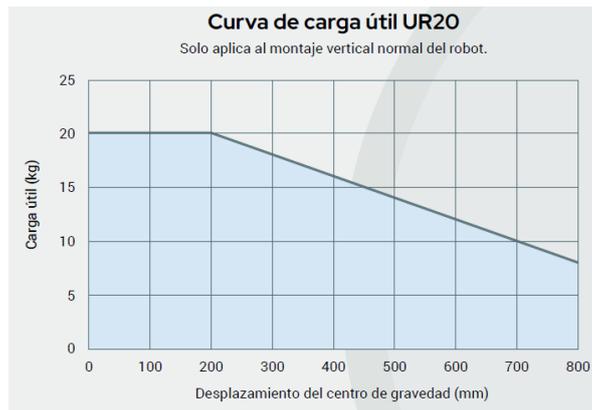


Ilustración 12. Curva de carga útil de UR20

Tal y como se puede observar en la Tabla 1, la velocidad con la que los robots son capaces de manejar las cargas son bastantes rápidas.

Radio de acción	Velocidad (°/s)	UR10	UR20
360°	Base	120	120
360°	Hombro	120	120
360°	Codo	180	150
360°	Muñeca 1	180	210
360°	Muñeca 2	180	210
360°	Muñeca 3	180	210

Tabla 1. Tabla de velocidades de rotación de las articulaciones de UR10 y UR20

Esto se ve reflejado en una velocidad aproximadamente de la carga de 1 m/s tal y conforme se indica la Ilustración 13 del manual técnico del robot UR10.

Robot type	UR10e
Weight	33.3 kg / 73.5 lb
Maximum payload	10 kg / 22 lb or 12.5 kg / 27.5 lb (4. Mechanical Interface on page 23)
Reach	1300 mm / 51.2 in
Joint ranges	± 360 ° for all joints
Speed	Base and Shoulder joints: Max 120 °/s. All other joints: Max 180 °/s . Tool: Approx. 1 °/s / Approx. 39.4 °/s.
System Update Frequency	500 Hz
Force Torque Sensor Accuracy	5.5 N
Pose Repeatability	± 0.05 mm / ± 0.0019 in (1.9 mils)per ISO 9283
Footprint	Ø190 mm / 7.5 in
Degrees of freedom	6 rotating joints

Ilustración 13. Resumen de ficha técnica de UR10

Por lo tanto, teniendo en cuenta que cada disparo se produce en aproximadamente 0,6 segundos y la distancia que tiene que recorrer el robot para clavar medio pallet son unos 1,8 metros, esto nos deja con un tiempo total de clavado de 9 segundos sabiendo que la mitad de los clavos necesarios en el pallet son 12 por el croquis de la Ilustración 14 que representa los clavos disparados como x, por el operario en el vídeo de ejemplo clavando una tapa a los respectivos tacos.

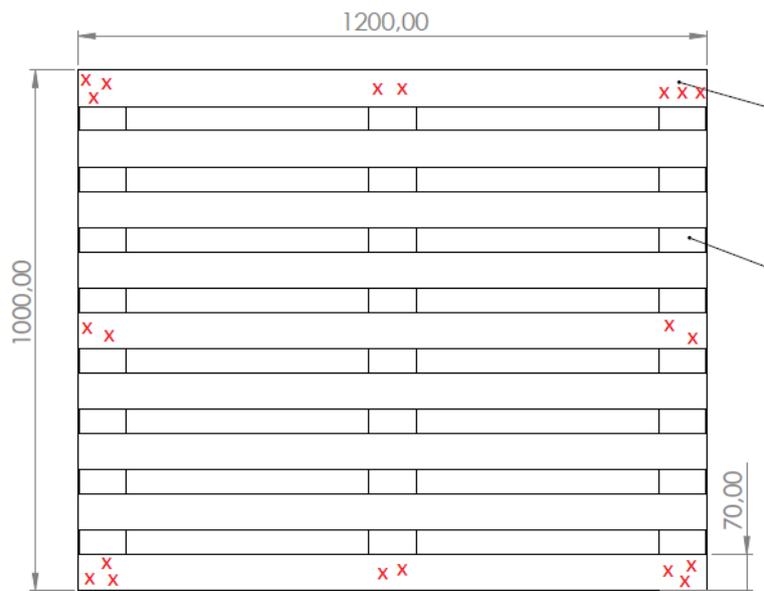


Ilustración 14. Croquis de localización de disparos de clavo

En el vídeo se puede comprobar que es obvio que un operario tiene una velocidad de clavado superior que los dos brazos robots, sin embargo, el hecho de poder estar organizando la madera para ser montada, a la vez que se está clavando en la estación siguiente, permite ahorrar mucho tiempo, cumplir con una prevención de riesgos laborales mayor, y ahorrar tiempo en aprendizaje de los nuevos operarios incorporados.

6.2 Selección de amortiguación

El proceso de selección de una amortiguación va a consistir en el cálculo de la fuerza de retroceso de la pistola de clavos, y la posterior selección en un catálogo de muelles.

6.2.1 Cálculo de fuerza de retroceso de pistola

El cálculo de la fuerza de retroceso que generará la pistola consiste en la fuerza de reacción que se obtendrá debido al disparo neumático de un clavo, ya que el aire comprimido a alta presión sale a mucha velocidad y esto genera la mencionada fuerza de reacción. En la Ilustración 15 se observa el mecanismo de la pistola que generará la fuerza.

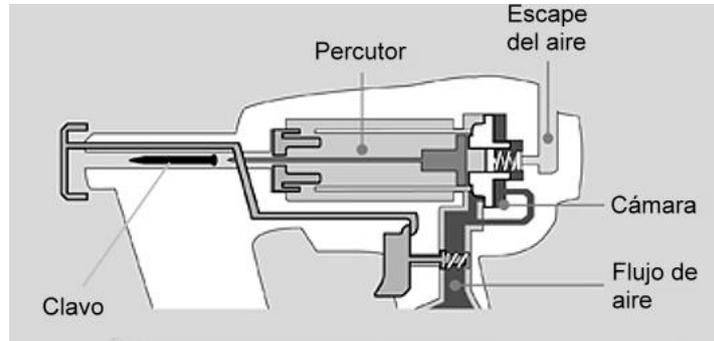


Ilustración 15. Croquis de funcionamiento de mecanismo de pistola neumática de clavos

Para simplificar un poco los cálculos ya que no se dispone de la mayoría de geometría del circuito de aire comprimido de la pistola y la instalación, como pueden ser la longitud equivalente o el diámetro, u otros parámetros como la constante del muelle del percutor; se va a suponer que el aire comprimido a 7 bar es un fluido incompresible, por lo tanto, se va a calcular una densidad media de este entre la presión máxima absoluta y la atmosférica.

$$P_{m\acute{a}x} = 7 \text{ bar} = 7 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_{atm} = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$$

$$P_{m\acute{a}x,abs} = P_1 + P_{atm} = 7 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 101325 \text{ Pa} = 801325 \text{ Pa}$$

$$\rho_{7 \text{ bar}} = \frac{P_{m\acute{a}x,abs}}{R \cdot T} = \frac{801325 \text{ Pa}}{287,05 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \cdot (20 + 273,15) \text{ K}} = 9,523 \text{ kg/m}^3$$

Así que una vez calculada la presión máxima absoluta, la presión media será esta:

$$\rho_{media} = \frac{\rho_{atm} + \rho_{7 \text{ bar}}}{2} = \frac{1,2 \text{ kg/m}^3 + 9,523 \text{ kg/m}^3}{2} = 5,364 \text{ kg/m}^3$$

Tal y como se ha mencionado, el flujo se va a considerar incompresible, por lo tanto, se va a emplear la ecuación de Bernoulli que relaciona la energía de presión, la cinética y la potencial del fluido.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Se van a considerar dos instantes a la hora del cálculo de la velocidad del clavo: el instante 1 en el cual el aire está a presión máxima esperando a ser liberado para impulsar el clavo; y el instante 2 donde se hace circular el aire para impulsar al clavo.

$$P_1 = P_{1,abs} = P_{m\acute{a}x,abs}$$

$$P_2 = P_{atm}$$

Aunque la velocidad de escape del aire no vaya a ser exactamente la misma que la de impulso del clavo debido al resorte del percutor que genera una resistencia, esta se aproximará bastante.

Se va a despreciar el término de la energía potencial ya que la diferencia de altura es mínima.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

Y como la velocidad del clavo en el instante 1 es cero se elimina el término cinético de la izquierda de la ecuación, la cual queda así:

$$P_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

De manera que, reorganizando los términos de esta, la velocidad se puede calcular:

$$v_2 = v_{clavo} = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2(P_{1,abs} - P_{atm})}{\rho_{media}}}$$
$$v_{clavo} = \sqrt{\frac{2(801325 Pa - 101325 Pa)}{5,364 kg/m^3}} = 510,88 m/s$$

Para saber la fuerza con la que se clava el clavo, es necesario saber que cantidad de movimiento se genera y para ello es necesario saber su masa. En Amazon se ha podido encontrar una “ficha técnica de un lote de 9000 clavos [2]” del modelo que se va a utilizar como se ve en la Ilustración 16, siendo el peso de este 22,48 kg, por lo que:

Fabricante	BOSTITCH -STANLEY BLACK DECKER
Identificador de producto del fabricante	F250R64
Dimensiones del producto	1 x 1 x 1 cm; 22,48 kilogramos
Número de modelo del producto	F250R64
Material	NSP
Fuente de alimentación	Eléctrico
Número de productos	1
Características especiales	NSP
Componentes incluidos	1 Producto
Necesita baterías	No
Peso del producto	22,5 kg

Ilustración 16. Ficha de producto de clavos para pistola seleccionada

$$m_{clavo} = \frac{m_{lote}}{n^{\circ} clavos} = \frac{22,48 kg}{9000} = 0,0025 kg/clavo$$

Así que la cantidad de movimiento del clavo que relaciona la masa y la velocidad se calcula de la siguiente manera:

$$p = m \cdot v = m_{clavo} \cdot v_{clavo} = 0,0025 kg \cdot 510,88 m/s = 1,2772 kgm/s$$

Por último, para saber la fuerza con la que se clavará el clavo, se emplea la 2ª ley de Newton que establece que la fuerza sobre un objeto es igual a la rapidez de cambio de la cantidad de movimiento del objeto, por lo que en términos de cantidad de movimiento esta se expresa como:

$$F = \frac{dp}{dt}$$

Como ya se dispone del incremento de cantidad de movimiento del clavo, falta saber cuánto dura el instante de tiempo del disparo en el cual se inyecta aire para disparar el clavo. Según la empresa BOSTITCH, a una velocidad de 100 clavos por minuto, se necesitan unos 0,22 m³ de aire. Por tanto, cada disparo va a durar un máximo de 0,6 segundos.

Sin embargo, este dato no refleja de manera cierta cuánto tiempo dura el instante del disparo ya que existe un tiempo muerto entre disparo y disparo, pero sí que sirve como referencia para hacer una aproximación ya que debe ser un valor menor al anterior. Tras una investigación en distintos foros, se ha aproximado el valor a un instante de disparo en el cual el aire empuja al clavo de 0,01 segundos.

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{1,2772 \text{ kgm/s}}{0,01 \text{ s}} = 127,72 \text{ N}$$

$$m_{herramienta} = d_{Aluminio 6061 T6} * V_{herramienta} = 2,7 \text{ g/cm}^3 \cdot 534,4 \text{ cm}^3 = 1442,88 \text{ g}$$

$$m_{herramienta} = 1,443 \text{ kg}$$

$$F_{herramienta} = 1,443 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2 = 14,156 \text{ N}$$

$$F - F_{peso,total} - F_{herramienta} = 127,72 \text{ N} - 62,4 \text{ N} - 14,15 \text{ N} = 51,16 \text{ N}$$

La fuerza que tendrá que absorber la amortiguación de la herramienta será de 51,16 N. Para poder realizar la selección del muelle, se debe calcular la constante elástica de este la cual relaciona la fuerza absorbida y el incremento de distancia del muelle de compresión en este caso.

Observando la referencia del vídeo de Loop Technology, se va a seleccionar que la distancia comprimida del muelle sean 2 cm.

$$F = k \cdot \Delta x$$

$$k = \frac{F}{\Delta x} = \frac{51,16 \text{ N}}{0,02 \text{ m}} = 2558 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 14,606 \frac{\text{lb}}{\text{inch}}$$

Como en este caso se van a utilizar dos muelles por cuestiones de equilibrio, estabilidad y geometría; la constante de cada muelle va a ser la mitad de la calculada anteriormente.

$$k_{muelle} = \frac{k}{n^{\circ} \text{ muelles}} = \frac{2558 \text{ N/m}}{2 \text{ muelles}} = 1279 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 7,303 \frac{\text{lb}}{\text{inch}}$$

Una vez calculada la constante de los muelles hay que barajar las distintas posibilidades de selección de amortiguadores. Cómo el diseño de la herramienta es un prototipo, para la amortiguación del retroceso se ha calculado únicamente la constante del muelle ya que no se puede disponer de la información suficiente como para calcular un amortiguador de absorción de choques.

6.2.2 Selección de muelle

El muelle elegido se ha seleccionado del catálogo del proveedor Century Spring, donde se ha elegido un “muelle con una constante de 7,285 lb/inch [3]” como el de la Ilustración 17, ya que un muelle más rígido que la constante calculada podría transmitir esfuerzos a la estructura de la herramienta.

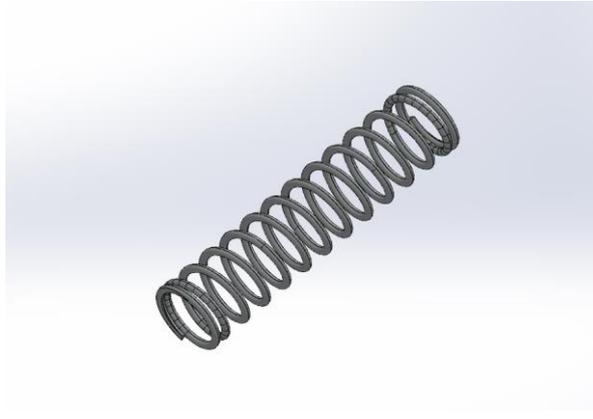


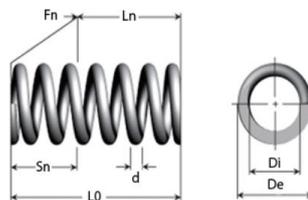
Ilustración 17. Muelle de constante $K=7,285 \text{ lb/inch}$

El resto de las especificaciones se pueden encontrar en la ficha técnica del muelle en los anexos del trabajo.

Para el muelle de las patillas traseras de amortiguación de caída de la pistola se calculará también la constante.

$$k = \frac{F}{\Delta x} = \frac{62,4 \text{ N}}{0,005 \text{ m}} = 12480 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 71,26 \frac{\text{lb}}{\text{inch}}$$
$$k_{\text{muelle}} = \frac{k}{n^{\circ} \text{ muelles}} = \frac{12480 \text{ N/m}}{2 \text{ muelles}} = 6240 \frac{\text{N}}{\text{m}} = 6,24 \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 45,68 \frac{\text{lb}}{\text{inch}}$$

Se elegirá un muelle de constante 6,30 N/mm de la página “Sodemann Muelles Industriales [4]” como el de la Ilustración 18 para cada patilla trasera las cuales soportarán el peso de la pistola y el impacto de esta al caer después de un disparo. Este irá soldado por soldadura TIG.



Material	Acero inoxidable 302
d - Diámetro del alambre (mm)	0.81
De - Diámetro externo (mm)	6.10
Di - Diámetro interno (mm)	4.48
L0 - Longitud sin carga (mm)	11.18
Ln - Longitud máx. con carga (mm)	7.16
Sn - Recorrido máximo (mm)	4.02
Fn - Carga máxima en N en Ln (N)	25.53
R - Constante del muelle (N/mm)	6.30

Ilustración 18. Muelle de constante $k=6,30 \text{ N/mm}$

6.3 Selección de sistema de raíl

Para la selección del conjunto que conforma el patín y el carril, se ha consultado el catálogo de raíles y patines de la empresa RS Components, donde en primer lugar se ha tenido que elegir un raíl con las dimensiones de anchura y longitud adecuadas para que pudiera encajar en el panel base de soporte, y el patín en el panel de anclaje al robot.

El carril es un “RS PRO de dimensiones 120 mm x 12 mm [5]”, y el “patín un RS PRO de 34,7 mm x 27 mm para raíl de 12 mm [6]”. En la siguiente tabla aparecen recuadrados los números de serie de cada componente junto a sus medidas que se han utilizado para integrarlos en el ensamblaje 3D.

El conjunto del sistema permitirá un desplazamiento totalmente transversal en el disparo además de evitar que la carga flechte.

Stock Numbers	Dimensions of Assembly (mm)			Dimensions of Block (mm)								Dimensions of Rail (mm)							Mounting Bolt for Rail	Basic Dynamic Load Rating	Basic Static Load Rating	Static Rated Moment			Weight		Rail Length				
	H	H ₁	N	W	B	B ₁	C	L ₁	L	G	G ₁	MxL	H ₂	W ₂	H ₃	D	h	d				P	E	C ₁ (kN)	C ₂ (kN)	M _x		M _y	M _z	Block	Rail
	N-m			N-m			N-m			kg	kg/m	mm																			
1766655	6	1.5	3.5	12	8	2	-	9.6	16	-	Ø0.8	M2x1.5	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1766656	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	3.6	3.6	0.8	2.4	15	5	M2x6	0.54	0.84	2	1.3	1.3	0.008	0.15	45		
1766657	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	3.6	3.6	0.8	2.4	15	5	M2x6	0.54	0.84	2	1.3	1.3	0.008	0.15	90		
1766658	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	3.6	3.6	0.8	2.4	15	5	M2x6	0.54	0.84	2	1.3	1.3	0.008	0.15	150		
1766659	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	3.6	3.6	0.8	2.4	15	5	M2x6	0.54	0.84	2	1.3	1.3	0.008	0.15	210		
1766660	8	1.5	5	17	12	2.5	8	13.5	22.5	-	Ø1.2	M2x2.5	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1766661	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	4.8	4.2	2.3	2.4	15	5	M2x6	0.98	1.24	4.70	2.84	2.84	0.010	0.22	45		
1766662	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	4.8	4.2	2.3	2.4	15	5	M2x6	0.98	1.24	4.70	2.84	2.84	0.010	0.22	105		
1766663	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	4.8	4.2	2.3	2.4	15	5	M2x6	0.98	1.24	4.70	2.84	2.84	0.010	0.22	180		
1766664	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	4.8	4.2	2.3	2.4	15	5	M2x6	0.98	1.24	4.70	2.84	2.84	0.010	0.22	300		
1766665	10	2	5.5	20	15	2.5	10	18.9	28.9	-	Ø1.4	M3x3	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1766667	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	6.5	6	3.5	3.5	20	7.5	M3x8	1.86	2.55	11.76	7.35	7.35	0.116	0.38	95		
1766668	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	6.5	6	3.5	3.5	20	7.5	M3x8	1.86	2.55	11.76	7.35	7.35	0.116	0.38	120		
1766669	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	6.5	6	3.5	3.5	20	7.5	M3x8	1.86	2.55	11.76	7.35	7.35	0.116	0.38	155		
1766670	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	6.5	6	3.5	3.5	20	7.5	M3x8	1.86	2.55	11.76	7.35	7.35	0.116	0.38	195		
1766671	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	6.5	6	3.5	3.5	20	7.5	M3x8	1.86	2.55	11.76	7.35	7.35	0.116	0.38	395		
1766673	13	3	7.5	27	20	3.5	15	21.7	34.7	-	Ø2	M3x2.5	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1766674	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	8	6	4.5	3.5	25	10	M3x8	2.84	3.92	25.48	13.72	13.72	0.034	0.65	120		
1766675	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	8	6	4.5	3.5	25	10	M3x8	2.84	3.92	25.48	13.72	13.72	0.034	0.65	220		
1766676	16	4	8.5	32	25	3.5	20	26.7	42.1	4.5	M3	M3x4	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1766677	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	10	6	4.5	3.5	40	15	M3x10	4.61	5.59	45.08	21.56	21.56	0.059	1.06	150		
1766678	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	10	6	4.5	3.5	40	15	M3x10	4.61	5.59	45.08	21.56	21.56	0.059	1.06	230		
1766679	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	10	6	4.5	3.5	40	15	M3x10	4.61	5.59	45.08	21.56	21.56	0.059	1.06	350		
1766680	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	10	6	4.5	3.5	40	15	M3x10	4.61	5.59	45.08	21.56	21.56	0.059	1.06	430		
1766681	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	10	6	4.5	3.5	40	15	M3x10	4.61	5.59	45.08	21.56	21.56	0.059	1.06	630		
1766682	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	10	6	4.5	3.5	40	15	M3x10	4.61	5.59	45.08	21.56	21.56	0.059	1.06	1000		

Tabla 2. Tabla de dimensiones de sistema de raíl

6.3.1 Selección de carril

Este carril irá ensamblado mediante 5 tornillos de métrica M3,5 al panel base de soporte de la herramienta.



Ilustración 19. Carril RS Pro 120x12mm

6.3.2 Selección de patín

El patín irá ensamblado a la extensión del panel de anclaje al robot mediante 4 tornillos de métrica M3.



Ilustración 20. Patín RS Pro 27x27mm

6.4 Actuador solenoide

Como la distancia aproximada que recorre el gatillo de la pistola es de unos 10 mm, se acoplará un “actuador solenoide lineal de empuje de RS Components [7]” de este recorrido como el de la Ilustración 19, el cual activará el gatillo de la pistola cuando el cuadro de mandos dé la orden. La responsabilidad de la programación y el circuito de este sistema recaerá sobre la empresa Universal Robots, quienes diseñarán el software de control del robot.



Ilustración 21. Actuador solenoide de 12V de 15 mm

Por otro lado, se elegirá un actuador que funcione a 12 V por conveniencia y uso común de este voltaje. El actuador como se ha mencionado antes será de 10 mm de distancia máxima recorrida suficientes para activar el gatillo e irá unido a la pistola mediante la unión de dos sargentos en forma de C rectangular.

En la Ilustración 20 observamos un “sargento de 68 mm [9]” que irá unido al mango de la pistola.

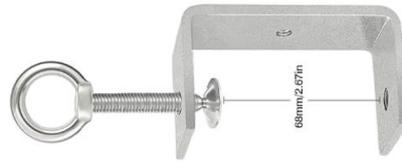


Ilustración 22. Sargento de 68 mm para pistola

Por otro lado, en la Ilustración 21 tenemos un “sargento de 29 mm [8]” de apertura que sujetará el actuador solenoide.



Ilustración 23. Sargento de 29 mm para actuador solenoide

Para la unión de estos se soldará un pequeño separador de aluminio al sargento de la pistola posicionado como en la Ilustración 22, el cual llevará un agujero roscado de métrica M3 para atornillar el sargento que sujeta el solenoide.

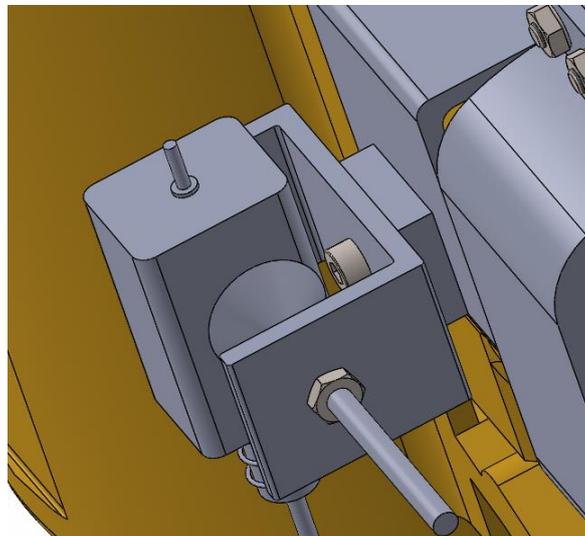


Ilustración 24. Unión de sargentos

7 Bibliografía

- [1] “Lenalur, C.B., Blog especializado en aluminio, Consultado el 27/02/2024”
<https://www.lenaluraluminiohierropvc.es/es/blog/tipos-de-aluminio/>
- [2] “Bostitch - Rollo de alambre soldado anillado, 2,50 x 64 mm, 9000 piezas (F250R64Q), consultado el 27/02/2024.”
https://www.amazon.es/Bostitch-alambre-soldado-anillado-F250R64Q/dp/B07GJ8LK26/ref=sr_1_1?qid=1706182054&refinements=p_89%3ABostitch&s=tools&sr=1-1&ufe=app_do%3Aamzn1.fos.5e544547-1f8e-4072-8c08-ed563e39fc7d
- [3] “Century Spring, 50351SCS -1.969 Inch Stainless Steel Compression Springs Consultado el 28/02/2024”
<https://www.centuryspring.com/shop/50351scs>
- [4] “SODEMANN MUELLES INDUSTRIALES, REF. C0400320440S, Consultado el 29/02/2024”
<https://www.muelles-industriales.es/c02400320440s>
- [5] “Carril RS PRO, dimensiones 120 mm x 12 mm, consultado el 27/02/2024” <https://es.rs-online.com/web/p/carriles-de-guias-lineales/1766674>
- [6] “Patín RS PRO, dimensiones 34,7 mm x 27 mm para raíl de 12 mm, Consultado el 27/02/2024” <https://es.rs-online.com/web/p/bloques-de-guias-lineales/1766673>
- [7] “Solenoides lineales de tirar Solentec Limited, 12 V dc, recorrido 10 mm, Consultado el 27/02/2024”
<https://es.rs-online.com/web/p/solenoides-lineales/9059931>
- [8] “Abrazaderas en C de Acero Inoxidable (30 mm), Consultado el 27/02/2024”
https://www.amazon.es/Abrazaderas-Inoxidable-Carpinteria-Antioxidante-Aberturas/dp/B0BNV1ZQKD/ref=sr_1_3?dib=eyJ2IjoiMSJ9.-wK-AtPWe_d9qfSS57GoR89ooZ5dkX5tXgiQDz3OjfqIN4HgOwQHKTfA1k7cMVJBzTRdJmt8FqKUBnFYsP5XRuQ5JObnWold4saacSE0VDrE3L8Q9wDMC2yQEBg954UDXYdETR9Ibb_2bXP_qmaWg1MHvqanV7eKTPeUjO7MDD0KkUWS-VLb41LnJOCgpzWw5910IDo2--6nSOWpn_N0tgAg9aPfyMnq-GY4fnADn7hBXtLzy_REmyEbExtqnLzw74FCcfWoTzfFbp9M4wD4RtBSa4iz5qUSlac5RHwFLc.KgvDLUpwvQ3bHYTDgTAqrbRs3a7myyDZOTUzvZZYL-A&dib_tag=se&keywords=abrazaderas+metalicas+40mm&qid=1709057026&sr=8-3-spons&sp_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zcF9hdGY&psc=1
- [9] “GothicBride 2 piezas Sargentos G 75 mm Acero Inoxidable, Consultado el 27/02/2024”
https://www.amazon.es/Sargentos-Inoxidable-Abrazadera-Ajustable-Carpintero/dp/B0BNX5HY6/ref=pd_ci_mcx_pspc_dp_d_2_t_3?pd_rd_w=HgRiO&content-id=amzn1.sym.f11fe75a-7397-412e-9b90-7e09bf6f5c14&pf_rd_p=f11fe75a-7397-412e-9b90-7e09bf6f5c14&pf_rd_r=MH6R2T9VG589EY2G1NXX&pd_rd_wg=JYSEx&pd_rd_r=0be78943-cb1c-4b20-a33e-d83790b75f55&pd_rd_i=B0BNX5HY6&th=1



CAPÍTULO V

Diseño y cálculo de solución final

Diseño de útiles y mecanismos necesarios para automatizar el proceso de ensamblaje y montaje de pallets basado en robots industriales



CAPÍTULO V · Diseño y cálculo de solución final

1 Contenido

1	Contenido.....	2
2	Índice de ilustraciones	3
3	Índice de tablas	5
4	Metodología de diseño, fabricación y cálculo.....	6
4.1	Descripción de la solución	6
5	Diseño de geometría de la herramienta	11
5.1	Panel de soporte.....	11
5.2	Patillas superiores.....	12
5.3	Patillas inferiores	13
5.4	Brazo de soporte.....	13
5.4.1	Acople de brazo con panel.....	14
5.4.2	Acople para pistola	14
5.5	Ensamblaje de amortiguación	15
5.5.1	Panel de unión al robot	16
5.5.2	Muelles de amortiguación	17
5.6	Tornillería.....	17
6	Análisis de esfuerzos mecánicos	19
6.1	Análisis de patillas superiores.....	19
6.1.1	Análisis estático Aluminio Aleación 6061 T6 SS.....	21
6.1.2	Análisis de fatiga	23
6.1.3	Conclusiones de análisis de patillas superiores	23
6.1.4	Comprobación de tornillos de patillas superiores.....	24
6.2	Análisis de patillas inferiores	27
6.2.1	Análisis estático Aluminio aleación 6061 patillas inferiores.....	27
6.2.2	Análisis de fatiga patillas inferiores	28
6.2.3	Conclusiones de análisis de patillas inferiores.....	29
6.3	Análisis de brazo soporte.....	29
6.3.1	Análisis estático Aluminio aleación 6061 T6 brazo soporte	33
6.3.2	Análisis estático Acero AISI 4340 brazo de soporte.....	34
6.3.3	Análisis fatiga de brazo soporte.....	36
6.3.4	Conclusiones análisis de brazo soporte	36
7	Bibliografía	37



2 Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Solución de automatización de clavado	6
Ilustración 2. Herramienta de soporte de pistola	7
Ilustración 3. Mecanismo de amortiguación traseros de herramienta.....	7
Ilustración 4. Unión de panel de unión a robot y sistema de raíl RS Components	8
Ilustración 5. Sistema de raíl ensamblado al panel de soporte	8
Ilustración 6. Muelles de amortiguación de disparos	9
Ilustración 7. Amortiguadores montados en el panel de soporte	9
Ilustración 8. Patillas con resorte de amortiguación de caída de pistola.....	10
Ilustración 9. Herramienta montada con pistola a brazo robótico	10
Ilustración 10. Modelo 3D de panel de soporte principal.....	11
Ilustración 11. Geometría real final de acople de patillas a pistola	12
Ilustración 12. Modelo 3D de patillas superiores con el refuerzo soldado	12
Ilustración 13. Modelo 3D de patillas inferiores	13
Ilustración 14. Modelo 3D de brazo de soporte de bobina.....	13
Ilustración 15. Brazo de soporte unido a acople de brazo con panel	14
Ilustración 16. Modelo 3D de acopl de brazo con panel.....	14
Ilustración 17. Modelo 3D de acople para pistola unido al brazo de soporte	14
Ilustración 18. Modelo 3D de unión de los dos acoples de la pistola	15
Ilustración 19. Modelo 3D de ensamblaje de amortiguación	15
Ilustración 20. Modelo 3D de panel de unión a robot	16
Ilustración 21. Plano de extremo final del robot UR10.....	16
Ilustración 22. Modelo 3D de muelles de amortiguación	17
Ilustración 23. Pletinas de unión de panel a suspensión	17
Ilustración 24. Arandelas métricas de acero de uso general	18
Ilustración 25. Tuercas de acero ISO 4161	18
Ilustración 26. Tuercas de acero cincado ISO 4161	18
Ilustración 27. Croquis de cálculo de reacciones de patilla en voladizo sin refuerzo	19
Ilustración 28. Perfil transversal de patillas superiores.....	19
Ilustración 29. Fórmulas de cálculo de inercia de un rectángulo.....	20
Ilustración 30. Tensiones normales en el eje Z calculadas por SolidWorks.....	20
Ilustración 31. Cálculo de tensiones de von Mises en patilla superior con geometría fija parte vertical.....	21
Ilustración 32. Cálculo de tensiones de von Mises en patilla superior con geometría fija en tornillos	22
Ilustración 33. Cálculo de deformaciones de patilla superior.....	22
Ilustración 34. Tipos de carga posible para análisis de fatiga	23
Ilustración 35. Ciclos totales soportados por patilla superior.....	23
Ilustración 36. Tensión de tracción máxima permitida por tornillos M8x25 de acero inoxidable	24
Ilustración 37. Croquis aproximado de conexión de tornillos.....	24
Ilustración 38. Cálculo de MD Solid de fuerza máxima soportada por los tres tornillos	24
Ilustración 39. Fragmento de CTE de cálculo de resistenciaa cortante.....	25
Ilustración 40. Fragmento de CTE de Resistencia a aplastamiento de la chapa	25
Ilustración 41. Croquis de referencia de letras de ecuaciones.....	26



Ilustración 42. Cálculo de tensiones de von Mises de patillas inferiores.....	27
Ilustración 43. Cálculo de desplazamientos de patillas inferiores	28
Ilustración 44. Cálculo de tensiones de von Mises en unión atornillada de patillas inferiores	28
Ilustración 45. Ciclos de fatiga soportados por patillas inferiores	29
Ilustración 46. Croquis de cálculo de reacciones de brazo en punto D.....	30
Ilustración 47. Croquis de cálculo de reacciones en empotramiento de brazo de soporte. 30	
Ilustración 48. Dimensiones de perfil del empotramiento de brazo de soporte	31
Ilustración 49. Fórmulas de cálculo de inercia de rectángulo	31
Ilustración 50. Cálculo de tensiones normales en eje X de brazo de soporte.....	32
Ilustración 51. Cálculo de tensiones tangenciales en el plano XZ de brazo soporte.....	33
Ilustración 52. Cálculo de tensiones de von Mises de brazo de soporte	33
Ilustración 53. Cálculo de deformaciones de brazo de soporte	34
Ilustración 54. Cálculo de tensiones de von Mises con Acero AISI 4340 en brazo de soporte	34
Ilustración 55. Cálculo de desplazamiento de brazo de soporte con Acero AISI 4340	35
Ilustración 56. Cálculo de tensiones de von Mises en tornillos de brazo de soporte	35
Ilustración 57. Ciclos de análisis de fatiga de brazo de soporte.....	36
Ilustración 58. Perfil IPE.....	36



3 Índice de tablas

Tabla 1. Resultados finales de análisis de patillas superiores	23
Tabla 2. Conclusión de resultados de análisis de patillas inferiores.....	29
Tabla 3. Esquema de posicionamiento de cargas y geometría fija de brazo soporte	29
Tabla 4. Coeficientes de torsión para barras rectangulares	32
Tabla 5. Conclusiones de resultados de análisis de brazo de soporte	36

4 Metodología de diseño, fabricación y cálculo

4.1 Descripción de la solución

El diseño final se verá como en la Ilustración 1, una vez ya implementado en el brazo robótico. Gracias a la flexibilidad que nos proporcionan los robots de Universal Robots, lo más eficiente sería plantear el clavado con dos robots trabajando al mismo tiempo, opuestos el uno del otro, para acelerar los tiempos de clavado y no forzar al robot a trabajar a distancias muy alejadas de su base lo cual provoca una disminución de la carga desplazada admisible por el brazo.

Sin embargo, una opción más económica sería planteando la incorporación a la línea de un mecanismo de rotación del pallet para trabajar con un solo brazo, pero esto reduciría demasiado la productividad.

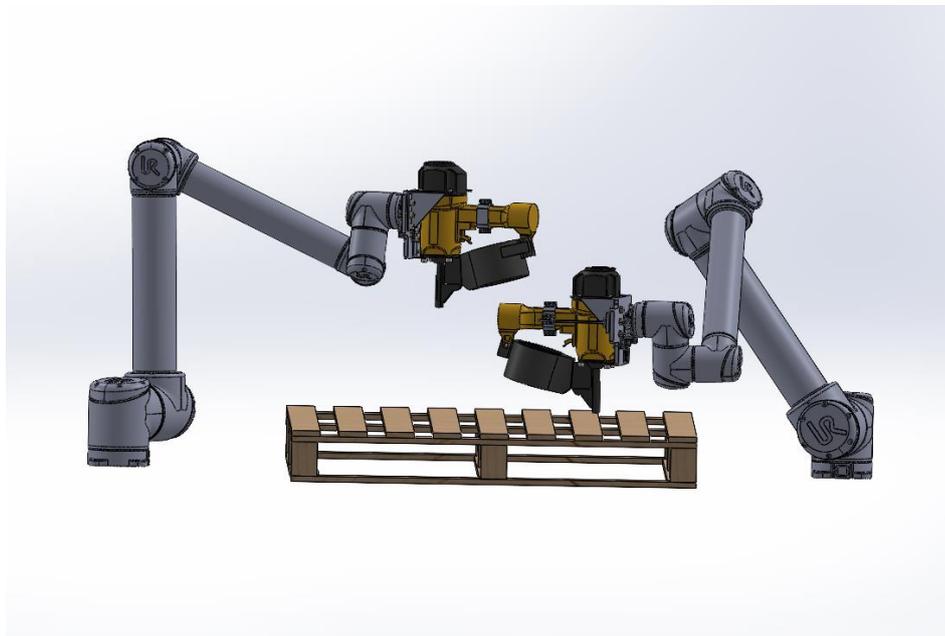


Ilustración 1. Solución de automatización de clavado

La línea de clavado, la proporcionaría la empresa de maquinaria COPAMADER, contemplada en el CAPÍTULO III de análisis de alternativas con la máquina automática de clavado, ya que Palets Simarro ya ha trabajado con ellos con dispositivos de esta clase. A pesar de que esta maquinaria dio problemas a nuestra empresa, fue concretamente el sistema de clavado lo que generaba las averías, sin embargo, en este trabajo se ha sustituido por el sistema de clavado por robots descrito en el párrafo anterior.

La herramienta que soporta el peso y se acopla a la geometría de la pistola de la Ilustración 2, consiste en dos parejas de patillas superiores e inferiores, atornilladas al panel de soporte de forma simétrica las cuales se unen a la propia pistola. Además, un brazo de perfil plano rectangular se acopla al mango de la pistola para evitar inercias de la bobina de clavos y equilibrar el conjunto y contrarrestar el hecho de que el centro de masas de la pistola se encuentra relativamente alejado del panel de soporte.

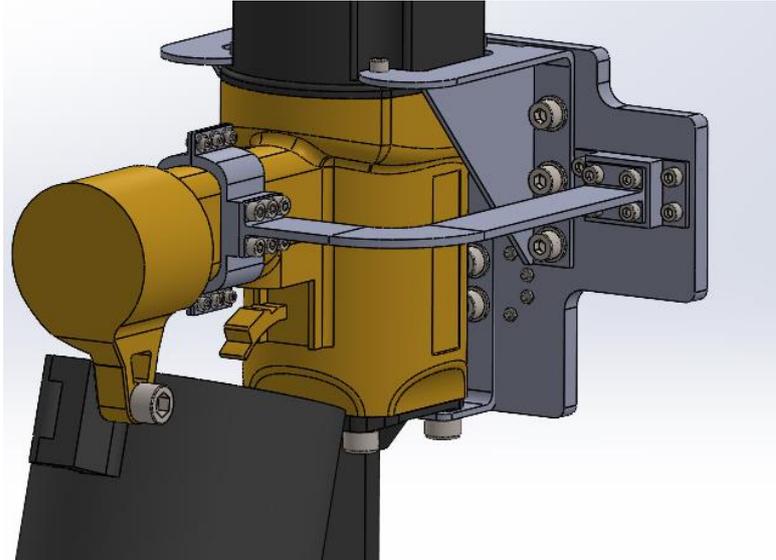


Ilustración 2. Herramienta de soporte de pistola

Después, el diseño de la parte posterior de la Ilustración 3 de la herramienta consta de un sistema de raíl para asegurar un desplazamiento totalmente transversal vertical de la herramienta y sostener la carga del conjunto herramienta-pistola. Al mismo tiempo, se encuentra un sistema de suspensión que amortiguará los disparos de la pistola y también hará que, en la descompresión del muelle, el conjunto no caiga a peso.

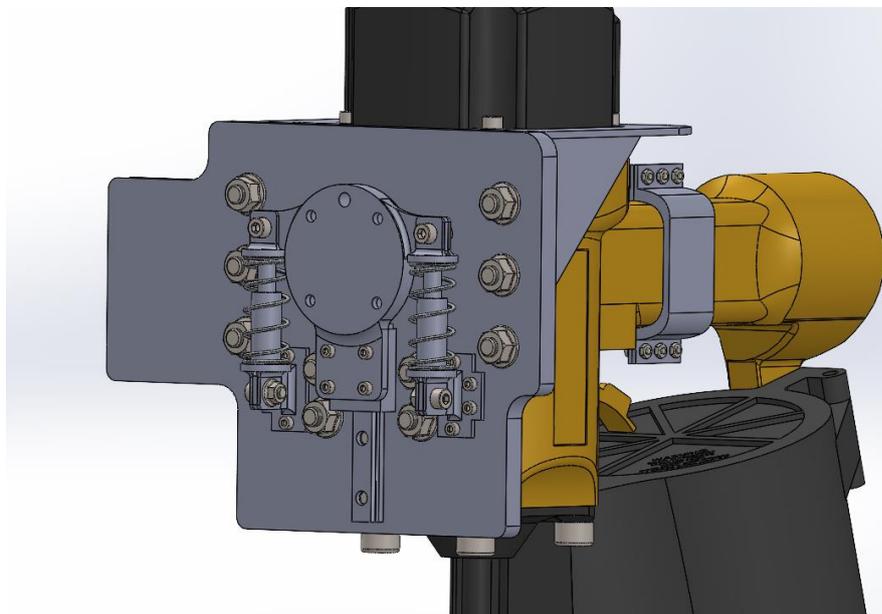


Ilustración 3. Mecanismo de amortiguación traseros de herramienta

Aunque la explicación anterior resume como es el funcionamiento de la herramienta, para realmente comprenderla hay que visualizar en primer lugar como es la unión del robot a la herramienta. Con la Ilustración 4, se puede observar como el panel redondo de unión al robot tiene un apéndice inferior rectangular que sirve de unión con el patín del sistema de raíl.

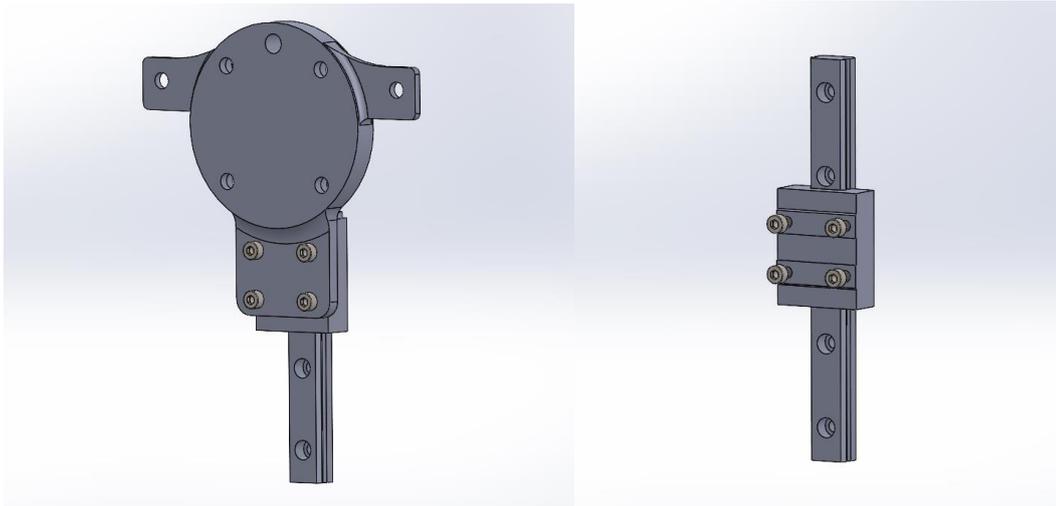


Ilustración 4. Unión de panel de unión a robot y sistema de raíl RS Components

En la ilustración 5 se puede observar cómo es el modelo 3D del sistema de raíl que compone el patín y el carril.

Esta unión es la que va a permitir que la herramienta tenga una trayectoria guiada en el momento del clavado. En el instante del disparo, el patín quedará fijo junto al panel de unión al robot, y el carril que va atornillado al panel y por ende al conjunto de la herramienta, subirá y bajará deslizándose sobre las esferas internas del mecanismo del carril.

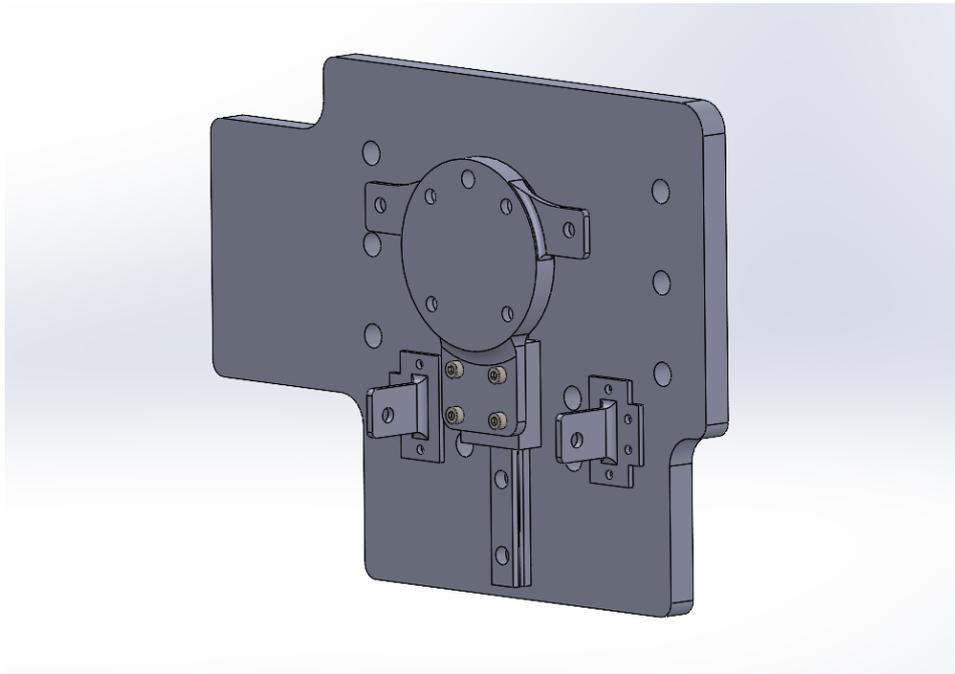


Ilustración 5. Sistema de raíl ensamblado al panel de soporte

El siguiente componente de la Ilustración 6 a tener cuenta es la amortiguación de este movimiento. En primer lugar, dos amortiguadores se montarán en las pletinas del panel redondo y del panel de soporte para así crear la interacción de amortiguación entre la herramienta y el robot, de manera que cuando el disparo se produzca, la herramienta suba guiada por el carril del sistema de raíl, y además la fuerza sea absorbida por estos muelles.

Cabe recalcar que de estos amortiguadores solo se calculará el muelle ya que no se dispone de suficiente información de fuerza de retroceso como para calcular un absorbedor de impactos.

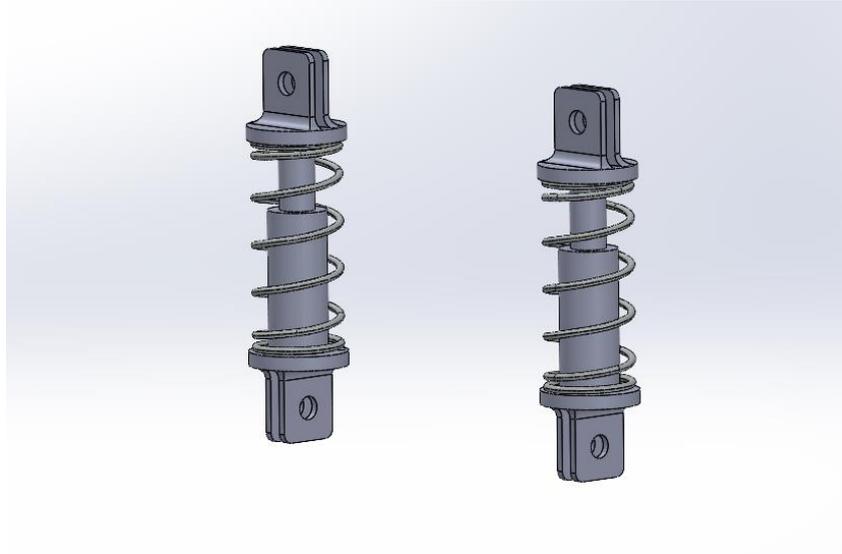


Ilustración 6. Muelles de amortiguación de disparos

Y en la Ilustración 7, se verían estos dos amortiguadores montados.

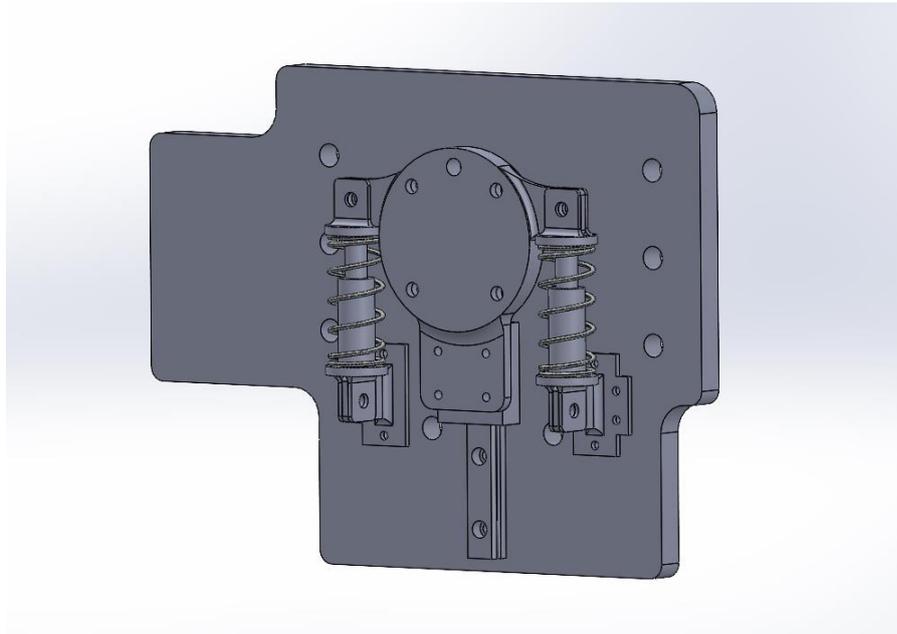


Ilustración 7. Amortiguadores montados en el panel de soporte

Además, se ha incorporado también una pareja de patillas con muelles de la forma de la Ilustración 8, contiguas al carril del sistema de raíl, de manera que cuando la pistola esté en su punto más alto y la pistola deba descender, esta no caiga por su propio peso sobre los amortiguadores, y tenga un punto de apoyo mínimamente amortiguado donde descansar su peso. De esta manera se compensará el hecho de no haber incorporado una amortiguación de absorción de impactos.

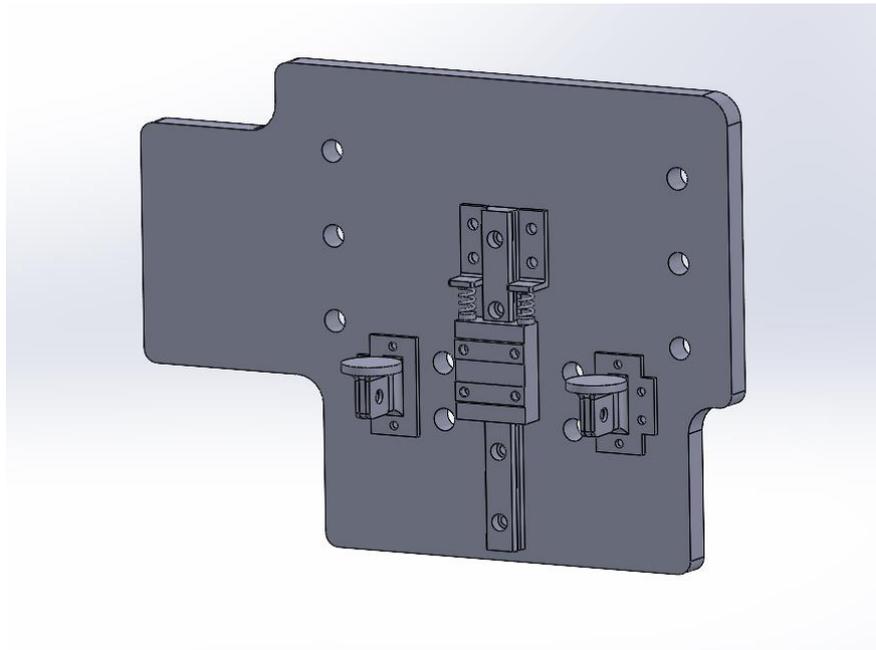


Ilustración 8. Patillas con resorte de amortiguación de caída de pistola

En la ilustración 9 se vería montado el conjunto al brazo robot.

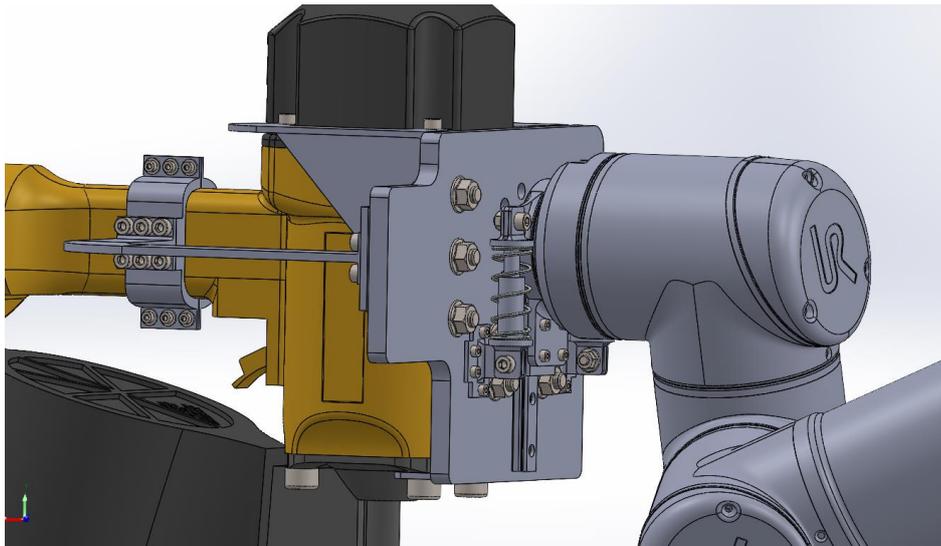


Ilustración 9. Herramienta montada con pistola a brazo robótico

En los siguientes apartados se entrará más en detalle del diseño y cálculo de la geometría de cada componente.

5 Diseño de geometría de la herramienta

Conforme se ha mencionado con anterioridad, en los siguientes apartados se entrará en algo más de detalle en cuanto a las decisiones que se han tomado a la hora de diseñar la geometría de la herramienta.

Además de las explicaciones de este apartado, se pueden encontrar los planos de todos los ensamblajes y componentes en el anejo de planos correspondiente.

5.1 Panel de soporte

El panel de soporte del conjunto de la herramienta consiste nada más ni menos que en un tablón rectangular originalmente de aluminio 6061 T6, el cual se ha conformado para que tenga 10 mm de espesor, de 230 mm de anchura y 170 mm de altura máximas, al cual se le ha retirado toda el área innecesaria, para que únicamente quede la superficie donde se van a atornillar las piezas de la herramienta.

Además, el panel, está dotado como se puede observar en la Ilustración 10, de todos los respectivos agujeros roscados donde se introducirá la tornillería de unión de los demás componentes.

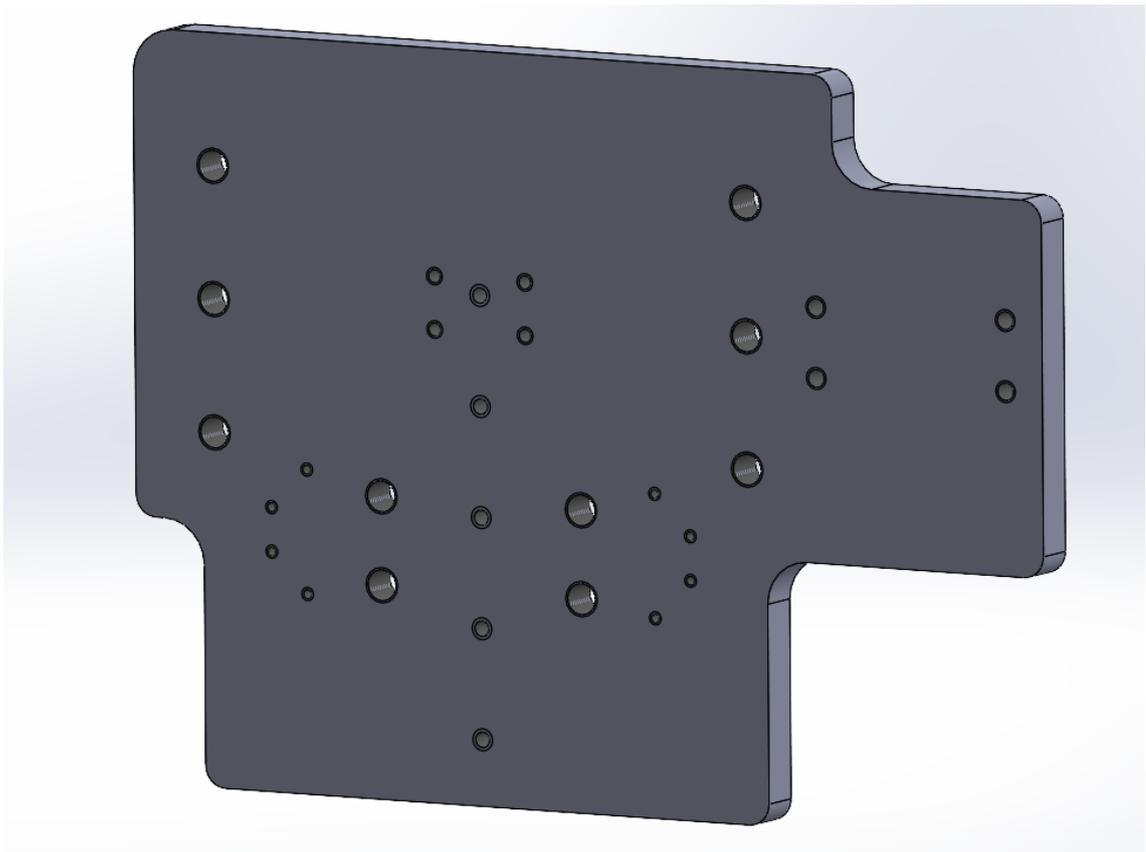


Ilustración 10. Modelo 3D de panel de soporte principal

5.2 Patillas superiores

Debido a las limitaciones físicas y materiales que existen para el diseño de la herramienta de este trabajo, como es el despiece de la pistola neumática y la toma de medidas de esta, las patillas no poseen las dimensiones del diseño final real, sin embargo, poseen un diseño muy similar para poder realizar los ensayos y asegurar un prototipo final fiable. La única diferencia notable entre el diseño final y el presentado en el trabajo, es la zona de unión de las patillas superiores a la tornillería de la pistola, la cual en el diseño final la geometría de esta parte vendrá dada por la pieza siguiente ya acoplada a la pistola.

Las piezas mencionadas con la geometría final de las patillas se pueden observar en la Ilustración 11.



Ilustración 11. Geometría real final de acople de patillas a pistola

La ilustración 12 del sólido 3D, es la geometría del prototipo de las patillas superiores, las cuales no llevan roscas en sus agujeros de unión por el fino espesor.

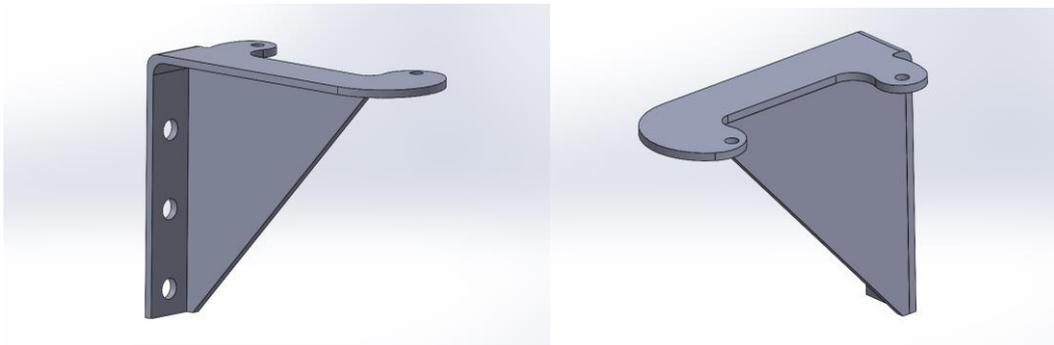


Ilustración 12. Modelo 3D de patillas superiores con el refuerzo soldado

Estas llevan dos pletinas cuyos croquis se han trazado mediante una unión de curvas tangentes entre sí para minimizar la concentración de tensiones y acoplarse a la zona de unión con la pistola cubriendo la mayor área de esta zona posible.

Además, como se puede observar, se acoplado un refuerzo de chapa que irá soldado del mismo espesor que la patilla, con el propósito de evitar que la patilla esté totalmente en voladizo, y aumentando la inercia frente a las cargas del conjunto para que haya menos tensiones.

En los agujeros de unión al panel de soporte, irán acoplados tres tornillos de métrica M8.

5.3 Patillas inferiores

Las patillas inferiores siguen la misma filosofía que las superiores, con tornillos de unión de métrica M8, sin embargo, estas no llevan refuerzo y la zona de unión con la pistola sí que queda totalmente en voladizo. Aun así, como la longitud de la zona en voladizo es bastante corta como se puede comprobar en la Ilustración 13, a comparación de las patillas superiores, las tensiones no serán un problema.

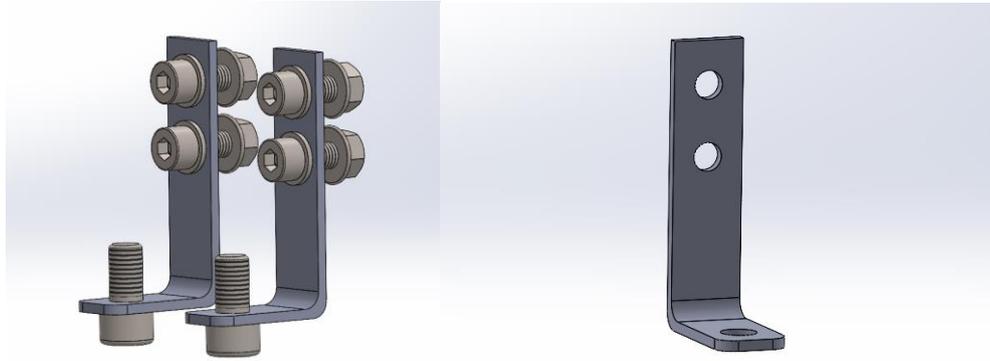


Ilustración 13. Modelo 3D de patillas inferiores

5.4 Brazo de soporte

Tal y como se ha podido apreciar en las imágenes del modelo de la pistola, la bobina de clavos se ubica relativamente alejada del cuerpo de la pistola y por tanto de la herramienta. Es por ello por lo que se quiere evitar que se produzcan tensiones excesivas en las patillas que sujetan la pistola, ya que el peso de la bobina podría producir momentos flectores que se verán representados como grandes tensiones debido a la gran distancia entre el centro de masas de la bobina y la herramienta.

Así que, partiendo de esta premisa, se ha incluido en el diseño de la herramienta un brazo que mediante unos acoples diseñados con la misma geometría que el mango de la pistola, sujetarán del mango funcionando de soporte para paliar los posibles momentos originados por el peso de la bobina de clavos.

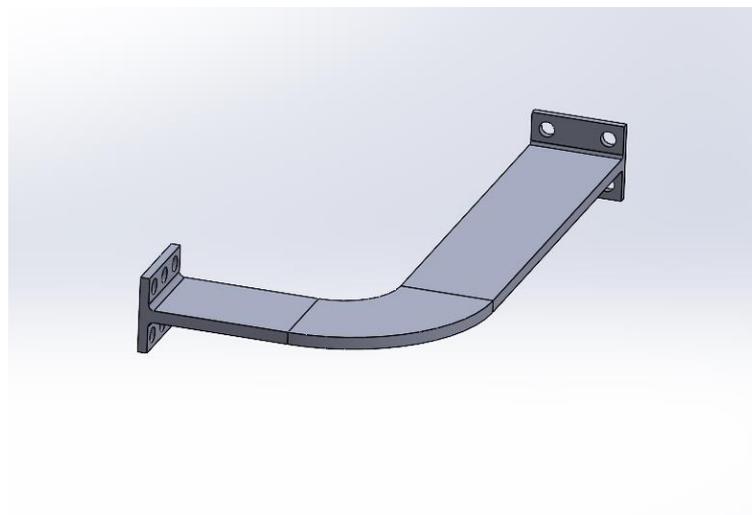


Ilustración 14. Modelo 3D de brazo de soporte de bobina

En la Ilustración 15 se puede observar como el brazo va atornillado al saliente del panel de soporte, hecho para poder introducir tornillos lo suficientemente largos como para poder soportar bien el peso de la pistola.

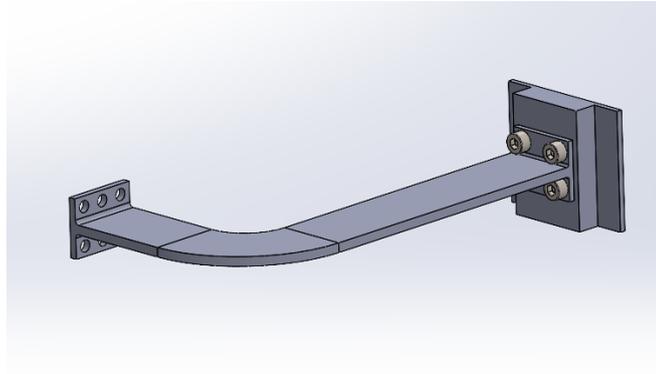


Ilustración 15. Brazo de soporte unido a acople de brazo con panel

5.4.1 Acople de brazo con panel

Se ha incluido un acople de un espesor alto para realizar la unión entre el panel de soporte y el brazo, para así poder incluir tornillos de suficiente longitud y que el empotramiento del brazo en el panel quede bien fijo, se reduzcan las tensiones y se consiga un buen apriete.

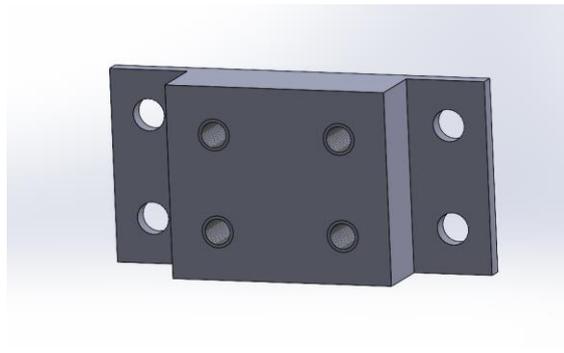


Ilustración 16. Modelo 3D de acopl de brazo con panel

5.4.2 Acople para pistola

Este brazo lleva, además, el acople para el mango de la pistola, que como se puede apreciar en la Ilustración 17, es en dos partes para poder montarlo con facilidad.

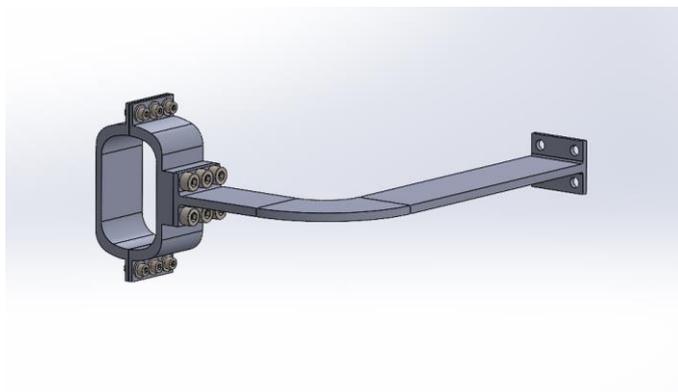


Ilustración 17. Modelo 3D de acople para pistola unido al brazo de soporte

El brazo se une al acople mediante 6 tornillos de métrica M5 y las dos piezas del acople se unen entre sí con 6 tornillos de métrica M3, a parte de sus respectivas arandelas para un buen apriete y sus roscas con la métrica correspondiente.

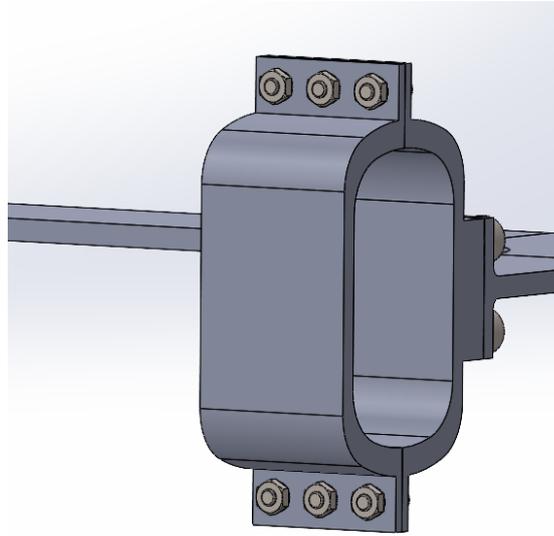


Ilustración 18. Modelo 3D de unión de los dos acoples de la pistola

5.5 Ensamblaje de amortiguación

Para describir el ensamblaje de la amortiguación hace falta desglosarla tal y como se ha mencionado anteriormente en: el panel de unión al robot, los muelles, y los soportes de la amortiguación.

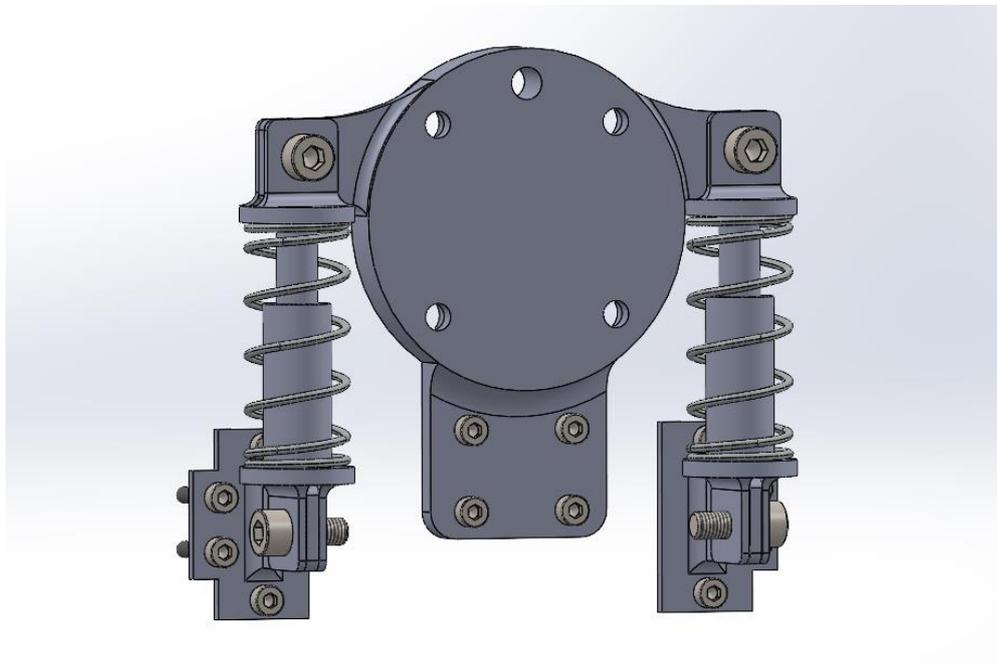


Ilustración 19. Modelo 3D de ensamblaje de amortiguación

5.5.1 Panel de unión al robot

Tal y como se puede observar en la Ilustración 20, el panel de unión robot sigue una geometría muy parecida al extremo del mismo robot que se puede encontrar en las mismas especificaciones técnicas

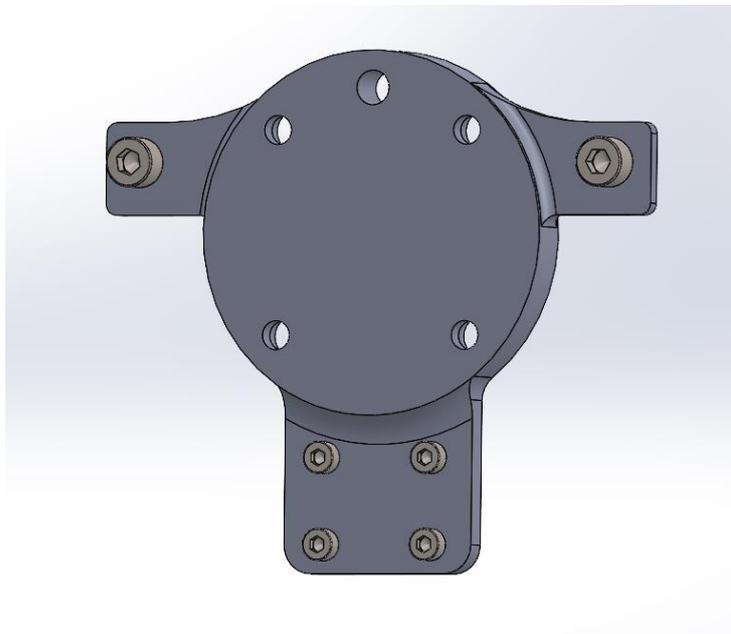


Ilustración 20. Modelo 3D de panel de unión a robot

Es decir, siguiendo la geometría de posicionamiento de los tornillos y el diámetro del extremo de la Ilustración 21.

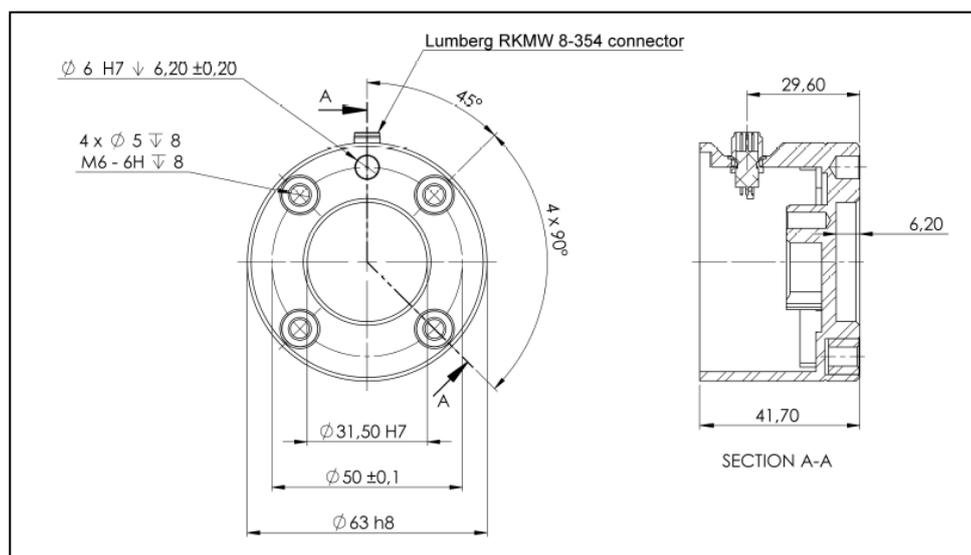


Ilustración 21. Plano de extremo final del robot UR10

Tal y como se ha explicado en puntos anteriores, el apéndice inferior se unirá al patín del sistema de raíl, mediante 4 tornillos de métrica M3.

Por contrapartida, los salientes del panel que sirven sujeción para la amortiguación se unen por un tornillo de métrica M5 en cada lado.

5.5.2 Muelles de amortiguación

Conforme se puede apreciar en la Ilustración 22, la amortiguación consiste en un muelle atrapado transversalmente por las dos bases que comprimirán la longitud de este. Los vástagos de la amortiguación se han modelado para entender que en un trabajo futuro se debería realizar un estudio más en profundidad de las fuerzas de retroceso y su energía generada, y de esta manera plantear el diseño con un absorbedor de impactos. Sin embargo, el prototipo estudiado solo contempla el cálculo del muelle, y para contrarrestar la caída de la pistola se han incluido las patillas traseras mencionadas anteriormente.

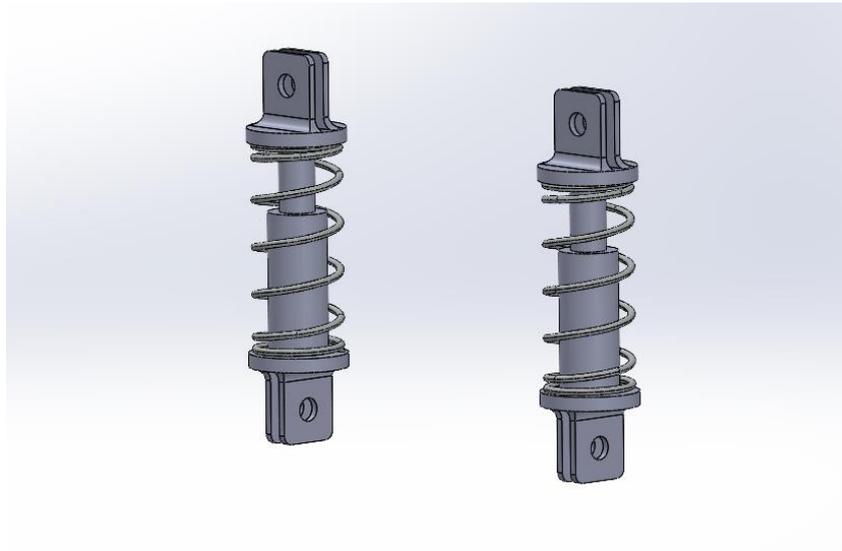


Ilustración 22. Modelo 3D de muelles de amortiguación

Para poder unir los soportes de la amortiguación al panel, se soldarán los soportes de la suspensión a unas pletinas para atornillarlas al panel.

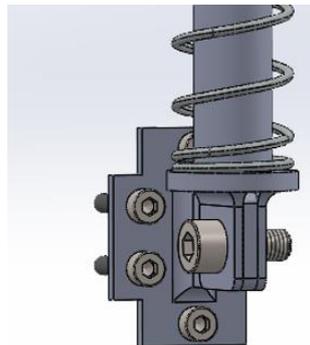


Ilustración 23. Pletinas de unión de panel a suspensión

5.6 Tornillería

Todos los tornillos de ensamblaje de los componentes cuya métrica y longitud están especificados en el listado de componentes del plano 1 del Anexo IV, son tornillos DIN 912 (ISO 4762) de cabeza cilíndrica con hexágono interior hechos de acero inoxidable A4-80 del proveedor de “especialistas en tornillos Al Metal [1]”.

Por otro lado, las “arandelas para el ensamble de las patillas serán seleccionadas del proveedor McMASTER-CARR [2]”, como arandelas de acero de uso general.

Metric General Purpose Washers

For Screw Size	ID, mm	OD, mm	Thickness, mm	Hardness	Specifications Met	Pkg Qty	Pkg
316 Stainless Steel							
M24	25.0	44.0	3.7-4.3	Not Rated	DIN 125; ISO 7089	5	90965A260 9.86
M30	31.0	56.0	3.7-4.3	Not Rated	DIN 125; ISO 7089	5	90965A270 16.06
M36	37.0	66.0	4.4-5.6	Not Rated	DIN 125; ISO 7089	1	90965A280 8.10
M39	40.0	72.0	5.4-6.6	Not Rated	DIN 125; ISO 7089	1	90965A290 12.55
M42	43.0	78.0	6.0-8.0	Not Rated	DIN 125; ISO 7089	1	90965A300 14.59
Bumax 109 Stainless Steel							
M6	6.4	12.0	1.4-1.8	Rockwell C30	DIN 125; ISO 7089	10	94316A310 6.18
M8	8.4	16.0	1.4-1.8	Rockwell C30	DIN 125; ISO 7089	10	94316A320 7.85
M10	10.5	20.0	1.8-2.2	Rockwell C30	DIN 125; ISO 7089	5	94316A330 9.02
M12	13.0	24.0	2.3-2.7	Rockwell C30	DIN 125; ISO 7089	5	94316A340 17.31
Steel							
M2	2.2	5.0	0.3-0.4	Rockwell B76	DIN 125	100	98687A131 2.08
M2.5	2.7	6.0	0.5-0.6	Rockwell B76	DIN 125	100	98687A132 2.24
M3	3.2	7.0	0.5-0.6	Rockwell B76	DIN 125	100	98687A133 2.29
M4	4.3	9.0	0.7-0.9	Rockwell B76	DIN 125	100	98687A134 2.89
M5	5.3	9.0	0.9-1.1	Rockwell B76	DIN 433	100	98687A135 3.50
M5	5.5	10.0	0.8-1.2	Rockwell B52	DIN 126; ISO 7091	100	98687A110 3.43
M6	6.4	11.0	1.4-1.8	Rockwell B76	DIN 433	100	98687A136 4.21
M6	6.6	12.0	1.3-1.9	Rockwell B52	DIN 126; ISO 7091	100	98687A111 5.15
M8	8.4	15.0	1.4-1.8	Rockwell B76	DIN 433	100	98687A137 6.94
M8	9.0	16.0	1.3-1.9	Rockwell B52	DIN 126; ISO 7091	100	98687A112 10.28

General Purpose Steel Washer for M8 Screw Size, 9 mm ID, 16 mm OD

Packs of 100

ADD TO ORDER

1 pack added to your order February 29. In stock

Product Detail 3-D Solidworks Download

Ilustración 24. Arandelas métricas de acero de uso general

Por último, “las tuercas de apriete a partir de métrica M5 serán de normativa ISO 4161 del proveedor McMASTER-CARR acero de clase 10. Las más pequeñas de M5, de acero cincado de clase 8 también de ISO 4161 [3]”.

Metric High-Strength Steel Flange Nuts—Class 10



Also known as collar nuts, these metric nuts have a flange that distributes pressure across the surface, so you don't need a washer. Because of the flange, they may not fit in tight spaces. Made of high-strength Class 10 steel, they're about 25% stronger than medium-strength steel flange nuts. Their strength is comparable to Class 10.9 bolts.

When choosing your finish, consider your environment. Steel nuts without any finish should be used in dry environments. Nuts with a **black-oxide** finish have mild corrosion resistance, but only in dry environments. **Zinc-plated** and **zinc yellow-chromate plated** nuts have a layer of zinc that protects the steel under it from rust, extending the life of the nuts. They resist corrosion in wet environments. A **black-phosphate** finish shields nuts from rusting, even in the midst of oil and grease.

ISO 4161 (formerly DIN 6923) and DIN 6331 nuts meet international standards for flange nut dimensions and materials.

Size	Thread		Wd., mm	Ht., mm	Flange		Specifications Met	Pkg Qty.	Pkg.
	Pitch, mm	Dia., mm			Thick., mm				
Standard Profile Steel—Class 10									
M5	0.8	8	5	11.8	1	1	DIN 6923, ISO 4161	100	95003A205 \$10.86
M6	1	10	6	14.2	1.1	1	DIN 6923, ISO 4161	100	95003A206 10.05
M8	1.25	13	8	17.9	1.2	1	DIN 6923, ISO 4161	50	95003A207 9.26
M10	1.5	15	10	21.8	1.5	1	DIN 6923, ISO 4161	50	95003A208 14.48
M12	1.75	18	12	26	1.8	1	DIN 6923, ISO 4161	25	95003A209 10.86
M14	2	21	14	29.9	2.1	1	DIN 6923, ISO 4161	10	95003A211 7.64
M16	2	24	16	34.5	2.4	1	DIN 6923, ISO 4161	10	95003A212 10.86
M20	2.5	30	20	42.8	3	1	DIN 6923, ISO 4161	5	95003A213 10.46

Ilustración 25. Tuercas de acero ISO 4161

Las más pequeñas de M5, de acero cincado de clase 8 también de ISO 4161 [3]”.

Metric Medium-Strength Steel Flange Nuts—Class 8



No need for a washer—these metric medium-strength steel nuts have a flange that distributes pressure across its surface the way a washer does. Skipping the washer saves assembly time. Sometimes called collar nuts, the flange gives these nuts a wider profile than standard nuts, so they may not fit in tight spaces. Made of medium-strength, Class 8 steel, they're suitable for fastening most machinery and equipment.

All meet DIN 6923 and some meet ISO 4161 dimensional standards, which confirm their compatibility with other parts and tools. The two standards are functionally equivalent.

Unfinished steel nuts are best for dry environments, since moisture will cause them to rust. They are ready for painting and welding.

Zinc-plated steel nuts resist rust, extending their life.

Size	Thread		Wd., mm	Ht., mm	Flange		Specifications Met	Pkg Qty.	Pkg.
	Pitch, mm	Dia., mm			Thick., mm				
Steel—Class 8									
M6	1	10	6	14.2	1.1	1	DIN 6923	100	90374A212 \$8.00
M8	1.25	13	8	17.9	1.2	1	DIN 6923	50	90374A213 7.00
M10	1.25	15	10	21.8	1.5	1	DIN 6923	25	90374A215 6.22
M10	1.5	15	10	21.8	1.5	1	DIN 6923	25	90374A216 6.26
M12	1.25	18	12	26	1.8	1	DIN 6923	10	90374A218 4.50
M12	1.5	18	12	26	1.8	1	DIN 6923	10	90374A219 5.14
M12	1.75	18	12	26	1.8	1	DIN 6923	25	90374A217 9.86
M16	1.5	24	16	34.5	2.4	1	DIN 6923	5	90374A221 5.75
M16	2	24	16	34.5	2.4	1	DIN 6923	10	90374A214 7.29
Zinc-Plated Steel—Class 8									
M3	0.5	5.5	4	8	0.8	1	DIN 6923	50	90374A211 6.90
M4	0.7	7	4.65	10	1.65	1	DIN 6923, ISO 4161	100	90374A110 8.57
M5	0.8	8	5	11.8	2.8	1	DIN 6923, ISO 4161	100	90374A111 6.28
M6	1	10	6	14.2	2.9	1	DIN 6923, ISO 4161	100	90374A112 7.72

Ilustración 26. Tuercas de acero cincado ISO 4161

6 Análisis de esfuerzos mecánicos

6.1 Análisis de patillas superiores

En este apartado se van a calcular los distintos esfuerzos mecánicos sometidos sobre las patillas superiores haciendo los cálculos a mano necesarios, y verificando posteriormente la información mediante análisis estáticos mediante el software SolidWorks.

Para calcular la tensión normal máxima que soporta la patilla, se va a simplificar el modelo de la geometría a una plancha en voladizo del mismo espesor y distancia a las cargas, en la cual se van a aplicar estas a la distancia del panel de soporte hasta el punto donde se ubican la unión de los tornillos de la pistola con la patilla como la de la Ilustración 27. Así obtendremos un valor similar de tensión máxima para asegurar que la simulación se ha realizado con éxito.

Aunque el peso total de la pistola se va a repartir entre las cuatro patillas y el brazo de soporte. Se van a calcular los esfuerzos con el peso total de la pistola de 62,4 N para poder asegurar el buen funcionamiento y resistencia de la herramienta. Por lo tanto, cada carga puntual será la mitad del peso total de la pistola, es decir, 31,2 N.

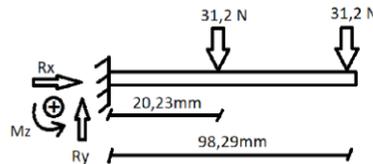


Ilustración 27. Croquis de cálculo de reacciones de patilla en voladizo sin refuerzo

Para calcular la tensión normal máxima, en primer lugar, mediante las ecuaciones de equilibrio, se deben calcular las reacciones en el empotramiento.

$$\Sigma F_x = 0 ; R_x = 0 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0 ; R_y - 31,2 \text{ N} = 0 ; R_y = 31,2 \text{ N}$$

$$\Sigma M_z = 0 ; M_z - 31,2 \text{ N} \cdot 20,23 \text{ mm} - 31,2 \cdot 98,29 \text{ mm} = 0$$

$$M_z - 631,18 \text{ Nmm} - 3066,65 \text{ Nmm} = 0 ; M_z = 3697,83 \text{ Nmm} = 3,698 \text{ Nm}$$

La Ilustración 25 representa el perfil de la sección transversal de la patilla la cual tiene 3mm de espesor y 22,5mm de ancho.

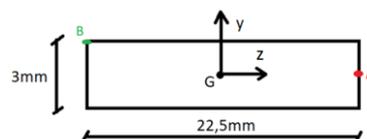


Ilustración 28. Perfil transversal de patillas superiores

Para calcular la tensión normal máxima se empleará la ecuación de Navier:

$$\sigma_z = \frac{M_z \cdot z}{I_z}$$

En esta ecuación participan el momento previamente calculado, la distancia del eje de giro de la plancha al punto más alejado que en este caso es el punto B marcado en la figura anterior,

y la inercia en este caso de un rectángulo en el eje Z del dibujo anterior ya que es el eje alrededor del cual flexiona la plancha.

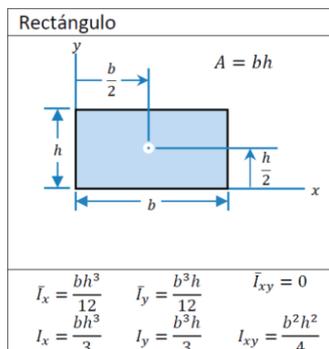


Ilustración 29. Fórmulas de cálculo de inercia de un rectángulo

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{22,5 \cdot 3^3}{12} = 50,625 \text{ mm}^4 = 50,625 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4$$

Una vez calculada la inercia, ya se puede calcular la tensión máxima.

$$\sigma_z = \frac{M_z \cdot z}{I_z} = \frac{3,698 \text{ Nm} \cdot 0,003 \text{ m}}{50,625 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4} = 109,57 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 109,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,m\acute{a}x} = 109,57 \text{ MPa}$$

Aunque el resultado de la simulación con el SolidWorks vaya a dar un resultado diferente debido a la diferencia de la geometría, este debe ser de un orden de magnitud igual y un número aproximado al calculado anteriormente.

Como se puede observar en la Ilustración 30, las tensiones normales en el eje Z son aproximadas al valor calculado anteriormente. Sin embargo, en el análisis estático mediante software se calcularán las tensiones de von Mises las cuales contemplan las tensiones en todas las direcciones y planos posibles. Además, las simulaciones se realizarán con el refuerzo unido a la patilla.

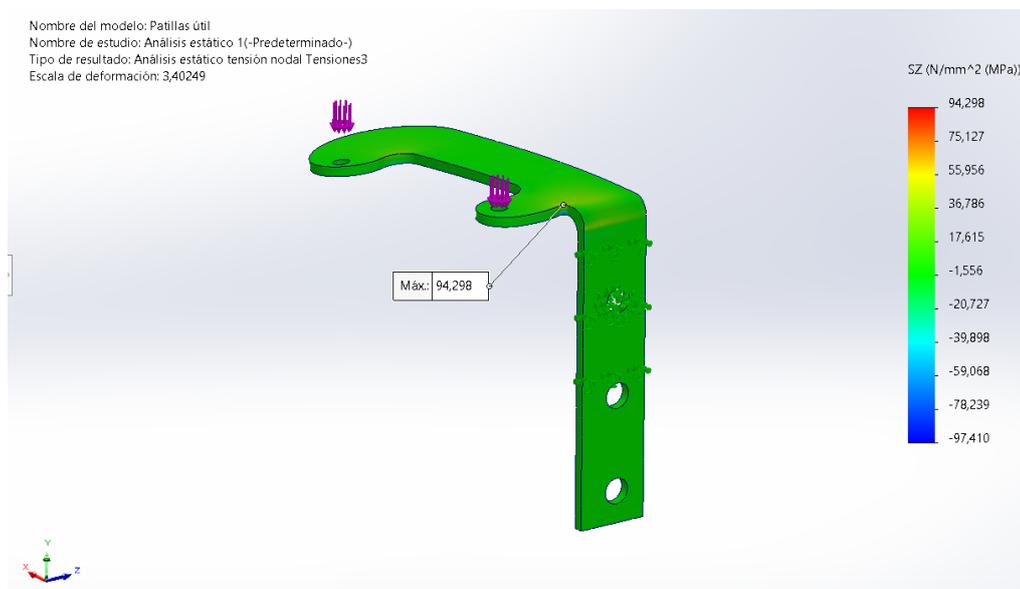


Ilustración 30. Tensiones normales en el eje Z calculadas por SolidWorks

6.1.1 Análisis estático Aluminio Aleación 6061 T6 SS

Tal y como hemos calculado, la fuerza que tendrá que soportar el conjunto de la herramienta es de 62,4 N, por tanto, cada patilla individualmente, sin contar el brazo de soporte, tendrá que soportar una cuarta parte de esta carga.

$$F/4_{\text{peso,total}} = \frac{62,4 \text{ N}}{4} = 15,6 \text{ N}$$

Las cargas se han situado sobre los agujeros superiores donde se acoplará la pistola y aunque en teoría cada patilla solo va a soportar unos 15,6 N, se asignarán los 62,4 N totales del peso de la pistola repartiéndolos en cada agujero, para asegurar buenos resultados de resistencia.

Se ha realizado en la Ilustración 31 una simulación estableciendo la parte que irá pegada al panel de soporte como geometría fija simulando un acople perfecto de los tornillos a este para ver cómo serán las tensiones en las esquinas de las pletinas que van atornilladas a la pistola, las cuales se han diseñado con geometría curva para que no se produzcan concentraciones de tensión.

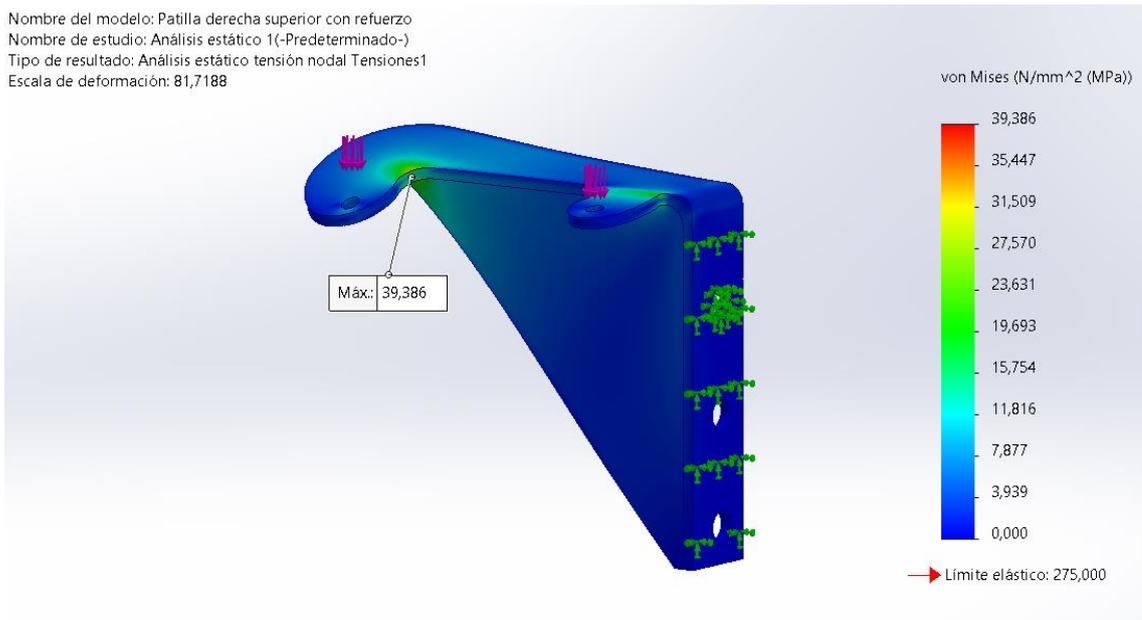


Ilustración 31. Cálculo de tensiones de von Mises en patilla superior con geometría fija parte vertical

La patilla puede soportar con creces la carga total, con un margen de más de 200 MPa.

También se ha simulado en la Ilustración 32, indicando que la geometría fija sea sobre las caras cilíndricas de los agujeros sobre las cuales irán conectados los tornillos para simular el esfuerzo que ejercerán sobre la patilla.

Nombre del modelo: Patilla derecha superior con refuerzo
Nombre de estudio: Análisis estático 2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 4,03049

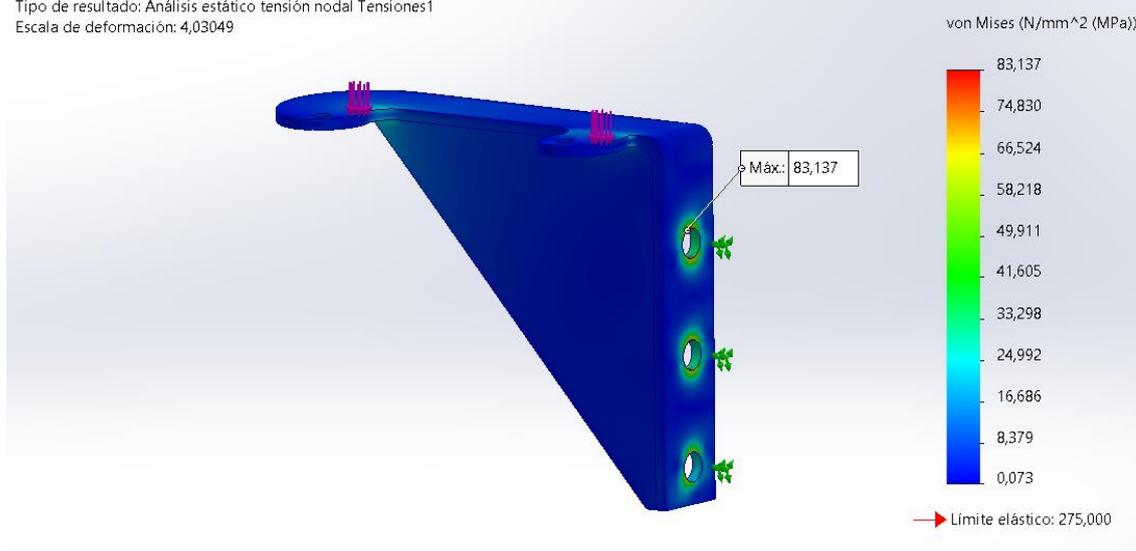


Ilustración 32. Cálculo de tensiones de von Mises en patilla superior con geometría fija en tornillos

En el caso de esfuerzo a los tornillos nos encontramos con una gran resistencia también, con casi 200 MPa de diferencia entre la máxima tensión y el límite elástico.

Como podemos comprobar en la Ilustración 33, la aleación 6061 T6 de aluminio asignada a la patilla soporta perfectamente el peso estático de la pistola.

Nombre del modelo: Patilla derecha superior con refuerzo
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 81,7188

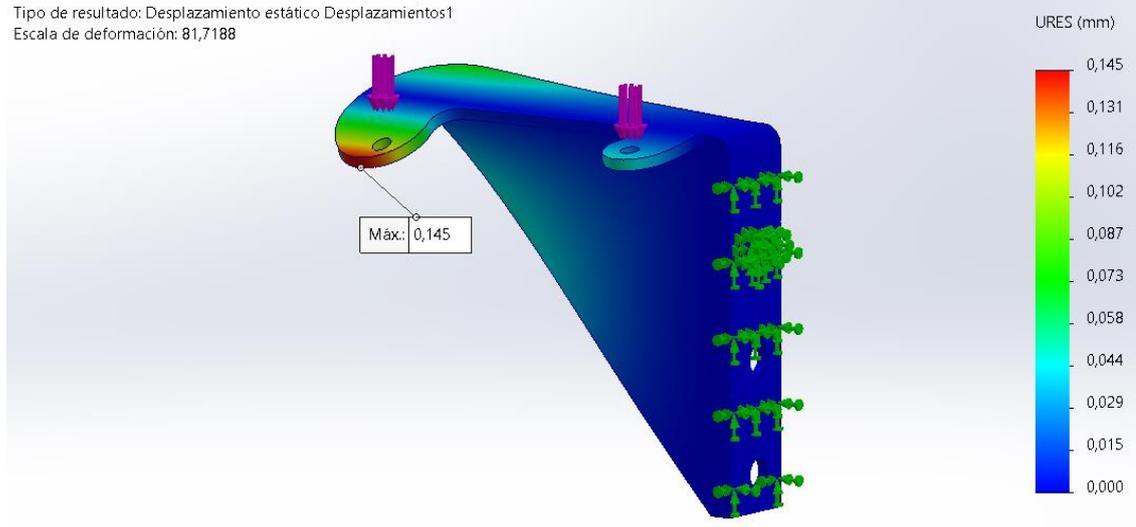


Ilustración 33. Cálculo de deformaciones de patilla superior

Además, las deformaciones son mínimas llegando a penas a una décima de milímetro.

6.1.2 Análisis de fatiga

Ya que el robot estará subiendo y bajando la pistola constantemente, seleccionaremos que haya una carga invertida completa en cada ciclo del mismo tamaño en vez de activar y desactivar la misma carga para simular este efecto como la seleccionada en la Ilustración 34.

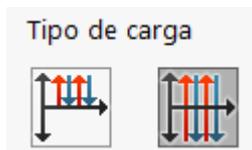


Ilustración 34. Tipos de carga posible para análisis de fatiga

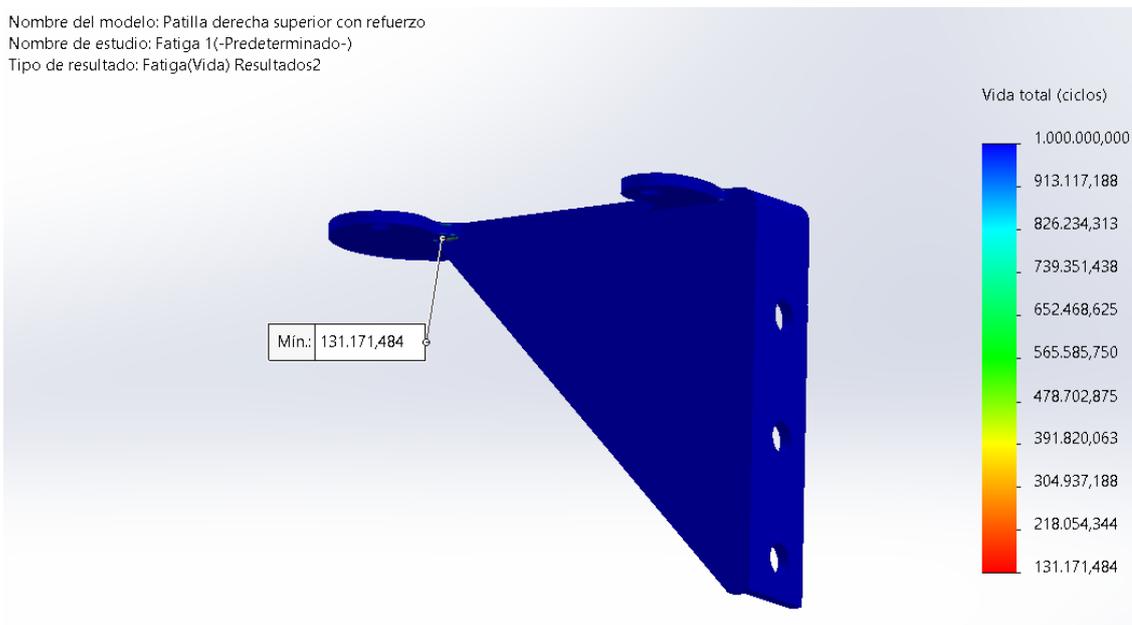


Ilustración 35. Ciclos totales soportados por patilla superior

Se puede comprobar en la Ilustración 35 que la aleación soportará suficientes ciclos como para tener una vida útil considerable, ya que con el peso total de la pistola aguantará como mínimo más de 100000 ciclos, entonces como el peso irá repartido, el material tiene una resistencia óptima para fatiga.

6.1.3 Conclusiones de análisis de patillas superiores

Tal y como se ha demostrado anteriormente, la aleación de aluminio 6061 T6 cumple todos los requisitos de resistencia que se le han impuesto, incluidos los ensayos de fatiga. Aun habiendo mayorado la carga que debe soportar cada patilla, el límite elástico del material ha quedado holgadamente distante de las tensiones máximas.

	Límite elástico (MPa)	Análisis voladizo (MPa)	Análisis tornillos (MPa)	Fatiga (ciclos)
Patillas superiores	275	39,386	83,137	131171

Tabla 1. Resultados finales de análisis de patillas superiores

6.1.4 Comprobación de tornillos de patillas superiores

6.1.4.1 Comprobación al cortante

Para la unión de las patillas superiores con el panel base de soporte de la herramienta se van a utilizar tres tornillos de métrica M8 para cada una con las propiedades de la Ilustración 36.

Plain 316 Stainless Steel						
Phillips Drive						
↑ Thread Size	Fastener Length	Head Width	Head Height	Drive Size	Tensile Strength	Price
M8	25 mm	16 mm	6.1 mm	#4	70,000 psi	\$17.14 / pkg. of 5

Ilustración 36. Tensión de tracción máxima permitida por tornillos M8x25 de acero inoxidable

Donde la tensión a tracción es f_{ub} :

$$f_{ub} = 70000 \text{ psi} = 482,63 \text{ MPa}$$

Y el área de un tornillo la siguiente:

$$A_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50,625 \text{ mm}^2$$

El croquis del cálculo de los tornillos de la patilla sería el de la Ilustración 37, pero con los tornillos paralelos a la carga, sin embargo, este esquema nos sirve.

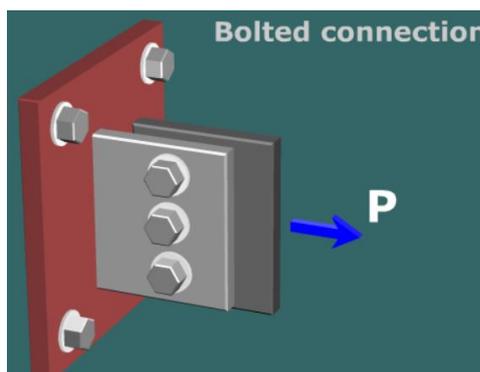


Ilustración 37. Croquis aproximado de conexión de tornillos

Se puede realizar el cálculo de la fuerza que aguantan estos en el software MD Solids como en la Ilustración 38:

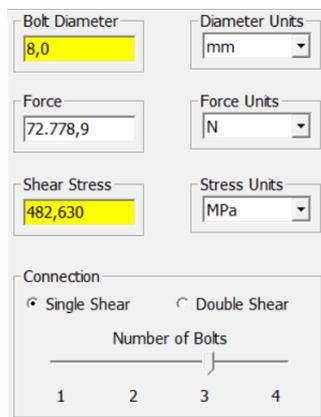


Ilustración 38. Cálculo de MD Solid de fuerza máxima soportada por los tres tornillos

La fuerza que puede soportar la unión es de 72,78 kN, sin embargo, hay que aplicarle los coeficientes estipulados de seguridad y del CTE de la Ilustración 39.

Resistencia a cortante
$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot n}{\gamma_{M2}}$
<p>donde: $\alpha_v = 0.5$ excepto para tornillos 4.6, 5.6 y 8.8; en la EAE $\alpha_v = \alpha$ y en el CTE siempre toma el valor 0.5 sin excepciones</p> <p>f_{ub} = resistencia a tracción del tornillo</p> <p>A_s = es el área resistente del vástago del tornillo, en el caso que ningún plano de corte pase por la zona roscada del tornillo se considera A (área del vástago del tornillo)</p> <p>n = número de planos de corte</p> <p>$\gamma_{M2} = 1.25$ (coeficiente parcial de seguridad)</p>

Ilustración 39. Fragmento de CTE de cálculo de resistencia a cortante

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_{v,Rd} \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot n}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 482,63 \text{ MPa} \cdot 50,625 \text{ mm}^2 \cdot 3}{1,25} = 29,11 \text{ kN}$$

$$F_d = 62,4 \text{ N} \leq F_{v,Rd} = 29,11 \text{ kN}$$

Por tanto, la fuerza total que es capaz de resistir a cortante cada unión atornillada en las patillas es de 29,11 kN, así que la unión sí cumple la resistencia al esfuerzo cortante.

6.1.4.2 Comprobación aplastamiento unión de la chapa

Resistencia a aplastamiento de la chapa
$F_{b,Rd} = \frac{\alpha_b \cdot k_1 \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$
<p>donde: $\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}; \frac{f_{ub}}{f_u} \text{ ó } 1.0\right)$; en la EAE y el CTE $\alpha_b = \alpha$</p> <p>$k_1 = \min\left(2.8 \frac{e_2}{3d_0} - 1.7; 1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7 \text{ ó } 2.5\right)$; en la EAE $k_1 = \beta$ y en el CTE siempre toma el valor de 2.5</p> <p>f_u = resistencia última del acero de la chapa</p> <p>d = diámetro del vástago del tornillo</p> <p>t = menor espesor de las chapas que se unen</p>

Ilustración 40. Fragmento de CTE de Resistencia a aplastamiento de la chapa

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot e}{\gamma_{M2}}$$

$f_u \rightarrow$ Resistencia última Aluminio 6061 T6

Siendo α el coeficiente menor de:

$$\frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{14 \text{ mm}}{3 \cdot 8 \text{ mm}} = 0,583$$

$$\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{30 \text{ mm}}{3 \cdot 8 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 1$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{482,63 \text{ MPa}}{310 \text{ MPa}} = 1,56$$

La ilustración 38 es un esquema de la referencia de algunas letras en las ecuaciones:

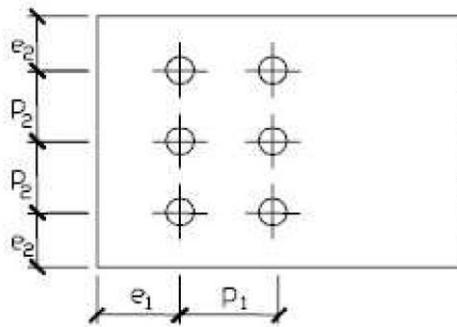


Ilustración 41. Croquis de referencia de letras de ecuaciones

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot e}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,583 \cdot 310 \text{ MPa} \cdot 8 \text{ mm} \cdot 3 \text{ mm}}{1,25} = 8675,04 \text{ N}$$

$$F_d = 62,4 \text{ N} \leq F_{b,Rd} \cdot n^{\circ} \text{ Tornillos} = 26,03 \text{ kN}$$

Como se puede comprobar la unión cumple de sobra el aplastamiento.

6.1.4.3 Comprobación de rotura a tracción

$$\frac{F_d}{A_{NETA}} \leq \frac{F_{yK}}{\gamma_{M0}}$$

$F_{yK} \rightarrow$ Límite elástico Aluminio 6061 T6

$$\frac{F_d}{A_{NETA}} = \frac{62,4 \text{ N}}{50,625 \text{ mm}^2} = 1,23 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_{yK}}{\gamma_{M0}} = \frac{270 \text{ MPa}}{1,05} = 257,14 \text{ MPa}$$

La unión a tracción cumple perfectamente.

$$\frac{F_d}{A_{NETA}} = 1,23 \text{ MPa} \leq \frac{F_{yK}}{\gamma_{M0}} = 257,14 \text{ MPa}$$

6.1.4.4 Comprobación de desgarramiento

$$\frac{F_d}{2 \cdot d \cdot e} \leq \frac{F_{yK}}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}$$

$$\frac{F_d}{2 \cdot d \cdot e} = \frac{62,4 \text{ N}}{2 \cdot 8 \text{ mm} \cdot 3 \text{ mm}} = 1,3 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_{yK}}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{310 \text{ MPa}}{1,05 \cdot \sqrt{3}} = 170,46 \text{ MPa}$$

La comprobación del desgarramiento de los tornillos a la chapa cumple y aguanta correctamente.

$$\frac{F_d}{2 \cdot d \cdot e} = 1,3 \text{ MPa} \leq \frac{F_{yK}}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = 170,46 \text{ MPa}$$

6.1.4.5 Conclusiones de cálculo de tornillos

Como se ha podido comprobar, mediante el uso de tornillos de acero inoxidable en toda la herramienta, los esfuerzos que van a soportar estos son aptos completamente independientemente incluso del diámetro ya que las fuerzas son lejanas a la fuerza límite de estos. Por lo que este cálculo es suficiente para la comprobación del resto del ensamblaje.

6.2 Análisis de patillas inferiores

Para el estudio estático de las patillas inferiores no sería necesario entrar en tanto detalle ya que la geometría de estas es muy parecida a las patillas superiores, incluso con menor momento de la zona en voladizo, y simplemente se va a ratificar que no hay ningún inconveniente en cuanto a geometría y esfuerzos.

En este caso se ha realizado un análisis estático con el peso total de la pistola de 62,4 N; con los mismos parámetros de geometría fija que en el caso anterior extrapolados a este componente, es decir uno fijando la zona vertical y otro fijando la zona de los tornillos. El primero de estos va enfocado a la flexión de la parte horizontal inferior en voladizo de la patilla, y el segundo va enfocado al cálculo de las tensiones que generarán los tornillos.

6.2.1 Análisis estático Aluminio aleación 6061 patillas inferiores

El primer ensayo de la Ilustración 42 va a ser con la pletina de la patilla en voladizo.

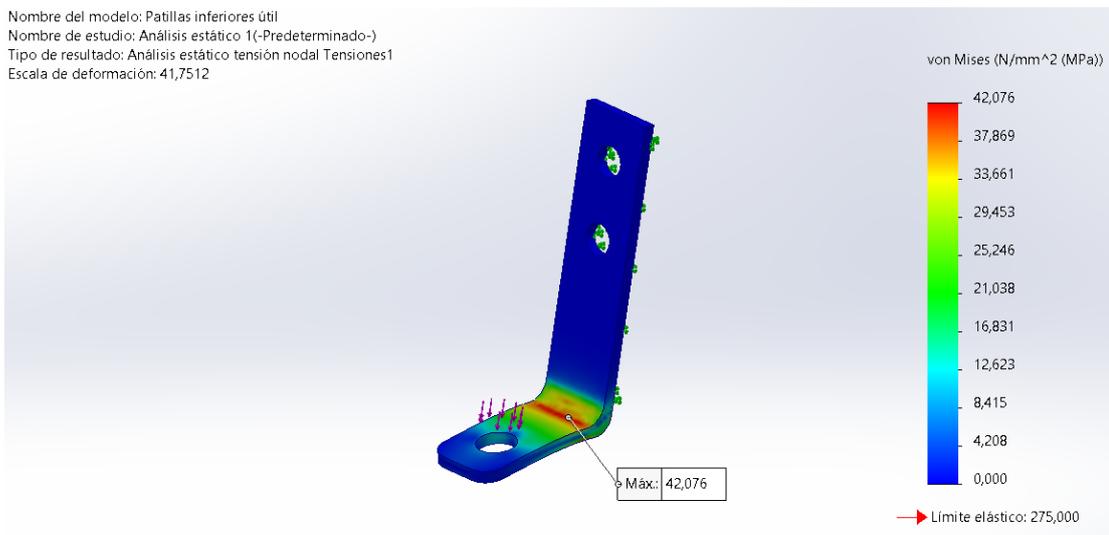


Ilustración 42. Cálculo de tensiones de von Mises de patillas inferiores

Tal y como indica el programa, la tensión máxima es más de 200 MPa menor al límite elástico del material, por lo que la resistencia es un éxito.

Además, en cuanto a deformaciones en la Ilustración 43, la máxima no llega a 0,2 mm.

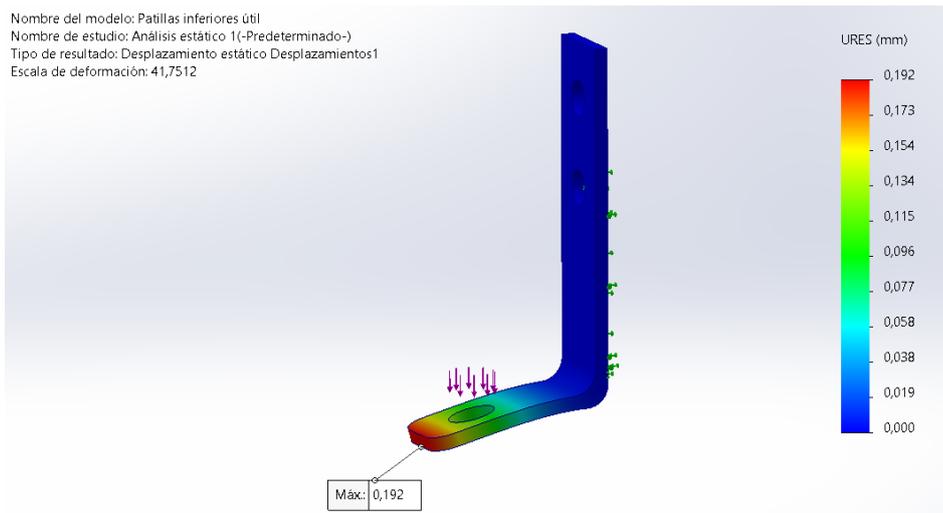


Ilustración 43. Cálculo de desplazamientos de patillas inferiores

Los tornillos en este caso sí que sufrirán bastantes tensiones, pero siguen a casi 100 MPa del límite elástico, además de que en realidad la carga será menor, recordando que estamos trabajando con el peso total de la pistola.

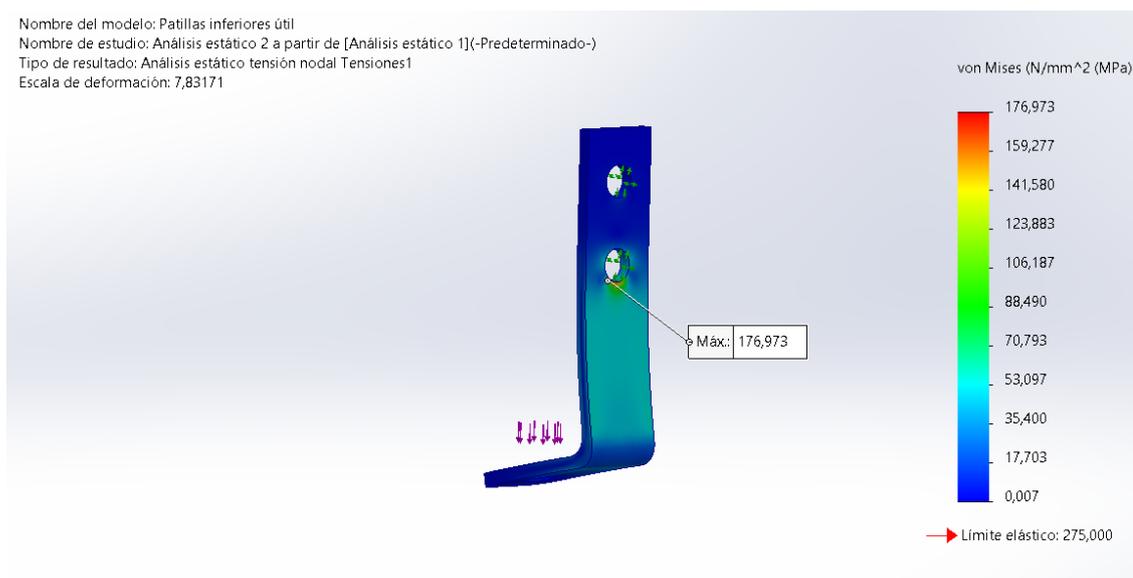


Ilustración 44. Cálculo de tensiones de von Mises en unión atornillada de patillas inferiores

6.2.2 Análisis de fatiga patillas inferiores

En el caso del ensayo de fatiga, se han adoptado las mismas premisas que en el análisis anterior de las patillas superiores, es decir, con una carga invertida del mismo valor alternando.

Con las patillas inferiores encontramos como soportan menos ciclos que las patillas superiores. Esto probablemente sea debido a que las inferiores no cuentan con el refuerzo de las superiores que evita la flexión de la pieza.

Sin embargo, con el peso total de la pistola, la patilla es capaz de soportar como mínimo más de 90000 ciclos, como se puede comprobar en la Ilustración 45.

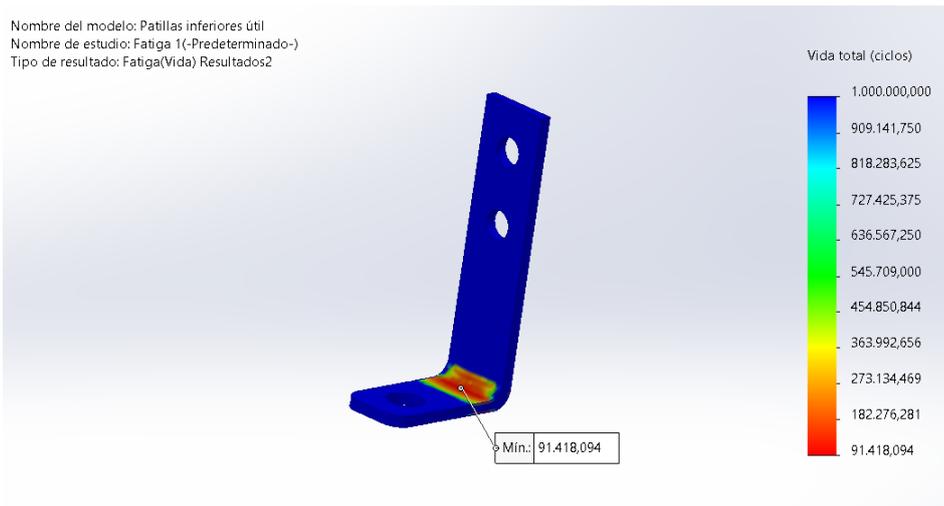


Ilustración 45. Ciclos de fatiga soportados por patillas inferiores

6.2.3 Conclusiones de análisis de patillas inferiores

Como se puede comprobar en la Tabla 2, los análisis realizados para las patillas inferiores se han realizado con éxito con los siguientes resultados:

	Límite elástico (MPa)	Análisis voladizo (MPa)	Análisis tornillos (MPa)	Fatiga (ciclos)
Patillas inferiores	275	42,076	176,973	91418

Tabla 2. Conclusión de resultados de análisis de patillas inferiores

6.3 Análisis de brazo soporte

Para analizar el brazo de soporte que aguanta el mango de la pistola y por tanto sostiene y evita la inercia de la bobina de clavos, se van a realizar los mismos ensayos que con los patillas.

Sin embargo, esta es una pieza distinta, y la geometría fija va a ser la unión al panel de soporte tal y como se aprecia en la imagen del siguiente punto, y la carga va a ir justo en la zona de ensamble con el acople del mango.

Se realizará en primer lugar un ensayo estático para comprobar las tensiones y desplazamientos y después una comprobación de fatiga con las mismas premisas que las patillas, es decir, con la carga total de la pistola de 62,4 N.

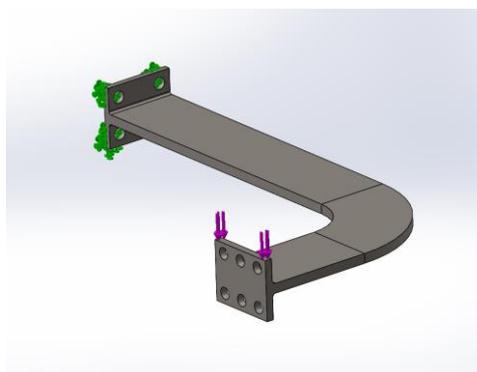


Tabla 3. Esquema de posicionamiento de cargas y geometría fija de brazo soporte

Pero antes de hacer los análisis con software se va a realizar un cálculo para comprobar que el programa está dando los resultados correctos y además dar más demostraciones de que la estructura del componente aguanta. Se va a realizar omitiendo las esquinas redondeadas del brazo para simplificar los cálculos.

Para poder calcular las reacciones en el empotramiento primero se han de calcular las reacciones que existen en el punto D de la siguiente vista superior del croquis del componente, mediante las ecuaciones de equilibrio. Como se puede ver en la Ilustración 46 la carga está situada en el extremo de este.

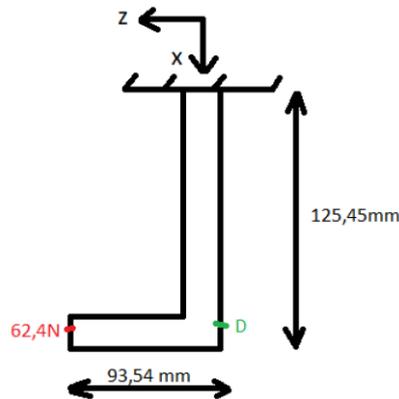


Ilustración 46. Croquis de cálculo de reacciones de brazo en punto D

$$\Sigma F_x = 0 ; R_x = 0 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0 ; R_y - 62,4 \text{ N} = 0 ; R_y = 62,4 \text{ N}$$

$$\Sigma M_x = 0 ; M_x - 62,4 \text{ N} \cdot 93,54 \text{ mm} = 0 ; M_x = 5836,89 \text{ Nmm}$$

Una vez calculadas las reacciones se croquiza un sistema equivalente en voladizo en la Ilustración 47, que conllevará una carga en el eje y de 62,4 N y un momento de sentido horario en este caso positivo por la posición los ejes de 5836,89 Nmm en el eje x, tal y como se ha calculado en las reacciones anteriores.

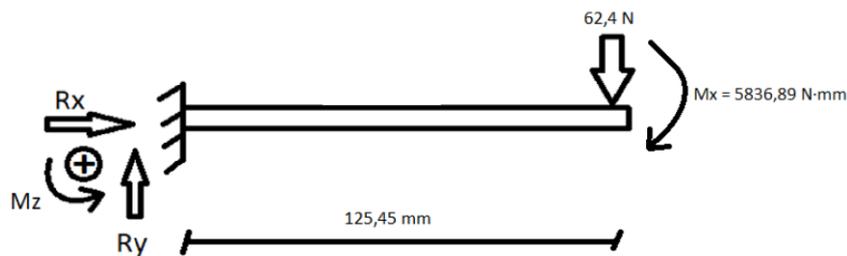


Ilustración 47. Croquis de cálculo de reacciones en empotramiento de brazo de soporte

Así que sabiendo esto, se vuelven a utilizar las ecuaciones de equilibrio:

$$\Sigma F_x = 0 ; R_x = 0 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0 ; R_y - 62,4 \text{ N} = 0 ; R_y = 62,4 \text{ N}$$

$$\Sigma M_x = 0 ; M_x + 5836,89 \text{ Nmm} = 0 ; M_x = -5836,89 \text{ Nmm}$$

$$\Sigma M_z = 0 ; M_z - 62,4 \text{ N} \cdot 125,45 \text{ mm} = 0 ; M_z = 7828,08 \text{ Nmm}$$

El siguiente paso será disponerse a calcular las tensiones normales en el empotramiento, y para ello hace falta conocer las dimensiones de la sección del perfil en la Ilustración 48, donde las tensiones máximas se encontrarán en el punto B.

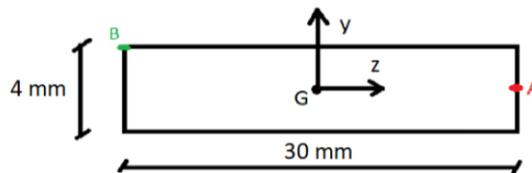


Ilustración 48. Dimensiones de perfil del empotramiento de brazo de soporte

Para calcular la tensión normal máxima al igual que en el caso de las patillas, se empleará la ecuación de Navier:

$$\sigma = \frac{M \cdot z}{I} \quad \sigma_z = \frac{M_z \cdot z}{I_z}$$

En esta ecuación participan el momento previamente calculado, la distancia z del eje de giro de la plancha al punto más alejado que en este caso es el punto B marcado en la figura anterior, y la inercia en este caso de un rectángulo adecuando según el eje hacia el cual flexiona la plancha.

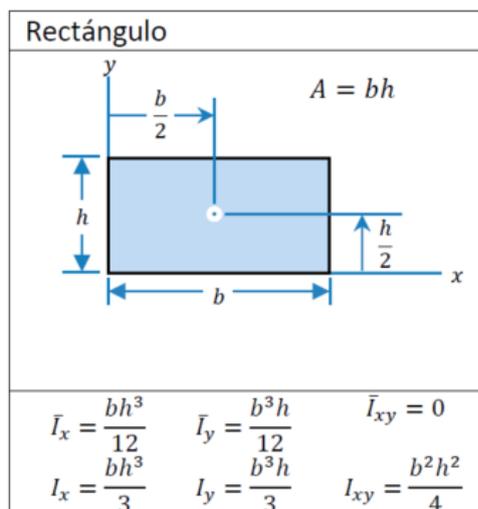


Ilustración 49. Fórmulas de cálculo de inercia de rectángulo

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{30 \cdot 4^3}{12} = 160 \text{ mm}^4 = 160 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4$$

Una vez calculada la inercia, ya se puede calcular la tensión máxima.

$$\sigma_z = \frac{M_z \cdot z}{I_z} = \frac{7,828 \text{ Nm} \cdot \frac{0,004 \text{ m}}{2}}{160 \cdot 10^{-12} \text{ m}^4} = 97,85 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 97,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,\text{máx}} = 97,85 \text{ MPa}$$

Aunque el resultado de la simulación con el SolidWorks vaya a dar un resultado diferente debido a la diferencia de la geometría, este debe ser de un orden de magnitud igual y un número aproximado al calculado anteriormente.

En la Ilustración 50 se puede comprobar como las tensiones normales del empotramiento en el eje X de la simulación, se aproximan más o menos a las tensiones del eje Z equivalente en el croquis.

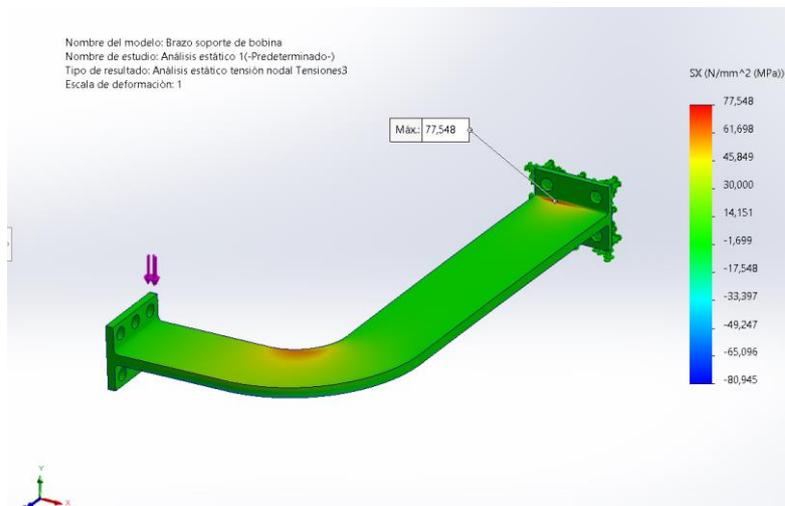


Ilustración 50. Cálculo de tensiones normales en eje X de brazo de soporte

También se van a calcular las tensiones tangenciales por el momento de torsión producido por la forma de letra L.

Para ello habrá que utilizar la fórmula de las tensiones tangenciales para perfiles rectangulares no huecos, que relaciona el momento torsor (T), el espesor (b) y anchura (a) de la plancha, y un coeficiente regulado (C1):

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T}{C_1 \cdot a \cdot b^2}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{30 \text{ mm}}{4 \text{ mm}} = 7,5$$

a/b	c ₁	c ₂
1.0	0.208	0.1406
1.2	0.219	0.1661
1.5	0.231	0.1958
2.0	0.246	0.229
2.5	0.258	0.249
3.0	0.267	0.263
4.0	0.282	0.281
5.0	0.291	0.291
10.0	0.312	0.312
∞	0.333	0.333

Tabla 4. Coeficientes de torsión para barras rectangulares

Interpolando los valores entre 5 y 10 para el coeficiente de barras rectangulares en torsión C1:

$$C_1 = \frac{0,312 - 0,291}{10 - 5} \cdot (7,5 - 5) + 0,291 = 0,3015$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T}{C_1 \cdot a \cdot b^2} = \frac{5836,89 \text{ Nmm}}{0,3015 \cdot 30 \text{ mm} \cdot (4 \text{ mm})^2} = 40,33 \text{ MPa}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 40,33 \text{ MPa}$$

Y como se puede visualizar en la Ilustración 51 las tensiones máximas tangentes en la simulación son muy cercanas al cálculo anterior.

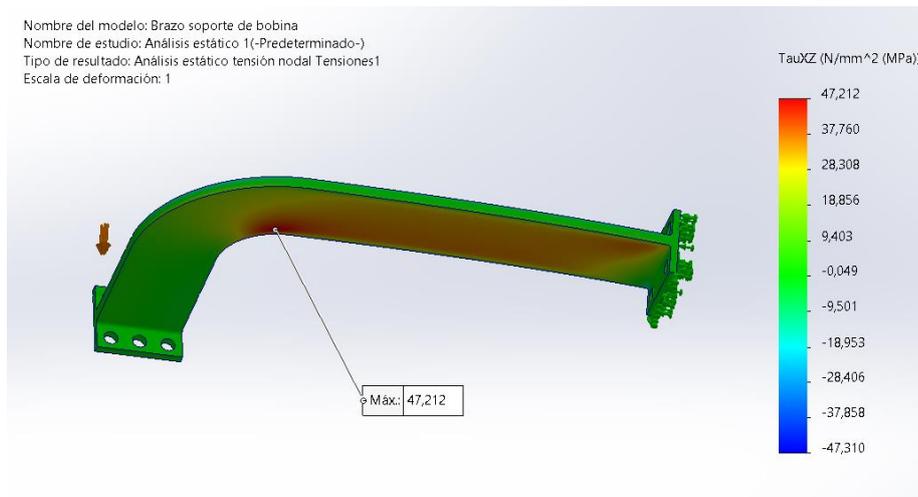


Ilustración 51. Cálculo de tensiones tangenciales en el plano XZ de brazo soporte

Sin embargo, para la simulación total del componente se van a comprobar las tensiones por el método de Von Mises que recoge las tensiones de todos los tipos, ya que de esta manera se asegurará que no se deja ningún tipo de dato por calcular.

6.3.1 Análisis estático Aluminio aleación 6061 T6 brazo soporte

Tal y como se ha seleccionado en el CAPÍTULO IV, se hará el ensayo con la aleación 6061 T6.

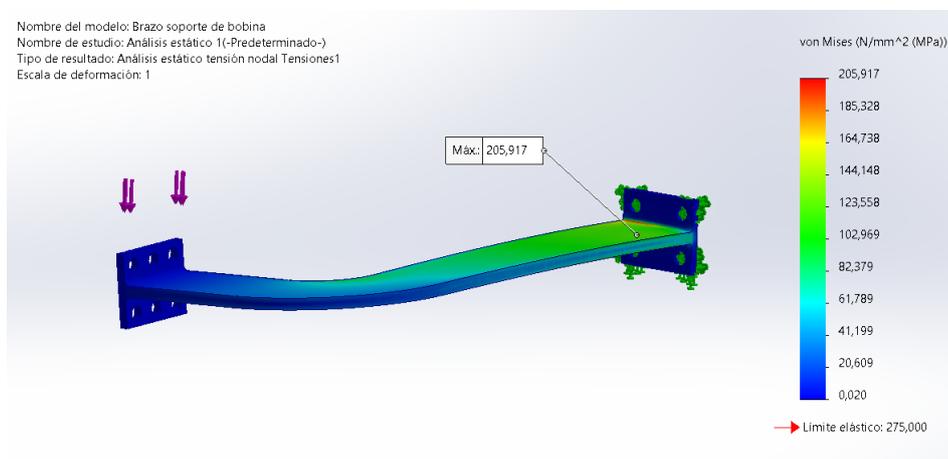


Ilustración 52. Cálculo de tensiones de von Mises de brazo de soporte

Las tensiones obtenidas son bastantes con un pico de 205 MPa en el empotramiento, sin embargo, existe un margen de 70 MPa hasta el límite elástico así que su perfil de resistencia es correcto.

El problema con el aluminio va a ser los grandes desplazamientos que se van a producir debido a la longitud del brazo, como se puede ver en la imagen siguiente de más de 13 mm. Este desplazamiento es demasiado porque al haber más de un centímetro, el clavado podría no ser tan preciso debido a estos movimientos y además producir oscilaciones que pueden afectar al resto de la estructura de la herramienta.

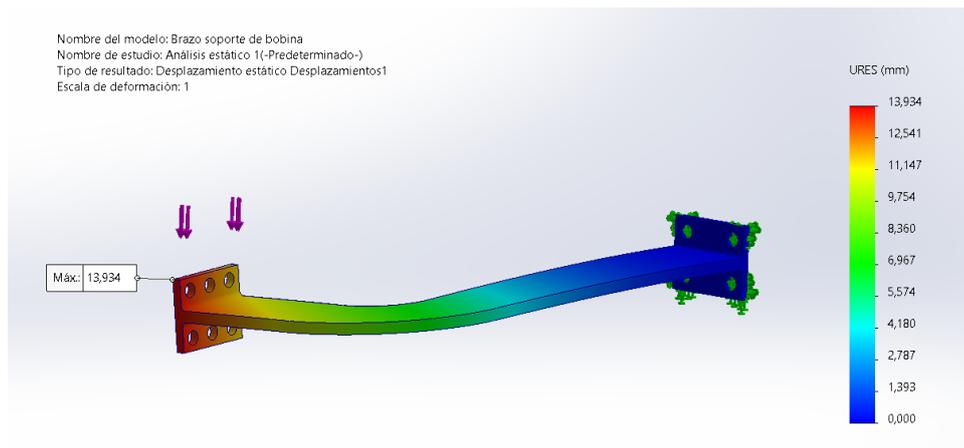


Ilustración 53. Cálculo de deformaciones de brazo de soporte

Es por eso por lo que se va a realizar un análisis con un acero, en este caso el AISI 4340, para asegurar un mayor límite elástico y mayor dureza.

Este acero es un material muy utilizado en sistemas mecánicos como ejes y engranajes, el cual tiene buena resistencia a la fatiga, lo cual será imprescindible para soportar los movimientos transversales de la pistola; y buena resistencia a la fractura y fuerza media, lo cual también es necesario debido a la geometría de gran longitud y poco espesor.

El único factor limitante de este material es su densidad que es de 7,85 g/cm³, la cual es casi tres veces la del aluminio, sin embargo, el poco volumen del componente nos permite cierta flexibilidad en cuanto a esta propiedad.

6.3.2 Análisis estático Acero AISI 4340 brazo de soporte

Como se puede comprobar, su perfil de resistencia a las tensiones generadas en el empotramiento es muy bueno ya que su límite elástico es casi el triple que el del aluminio.

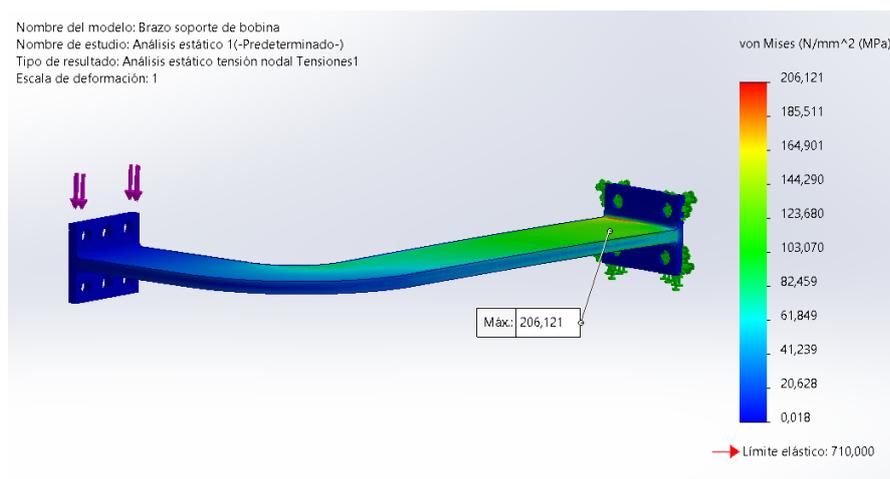


Ilustración 54. Cálculo de tensiones de von Mises con Acero AISI 4340 en brazo de soporte

Tal y como se ha pretendido, los desplazamientos son tres veces menores que con el aluminio, con un pico máximo de poco más de 4 mm, así que se seleccionará este acero para el conformado de este componente, sobre el cual también recae mucha importancia ya que es el responsable de equilibrar la inercia de la pistola y la bobina.

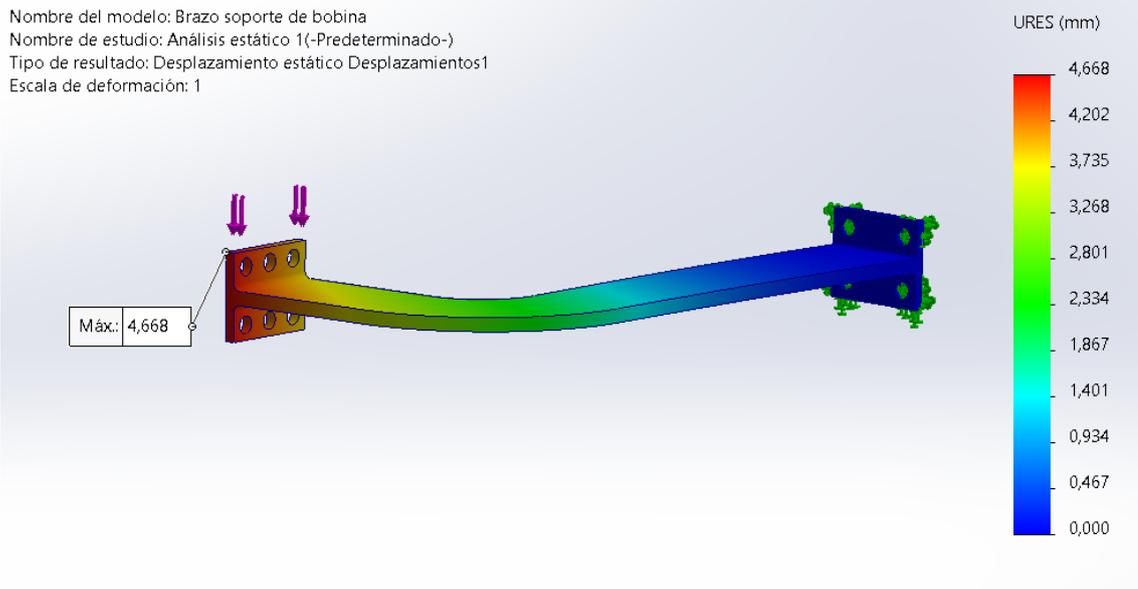


Ilustración 55. Cálculo de desplazamiento de brazo de soporte con Acero AISI 4340

En cuanto al ensayo de los tornillos, no existen prácticamente tensiones así que este no será un tema que vaya a interferir en el diseño del brazo.

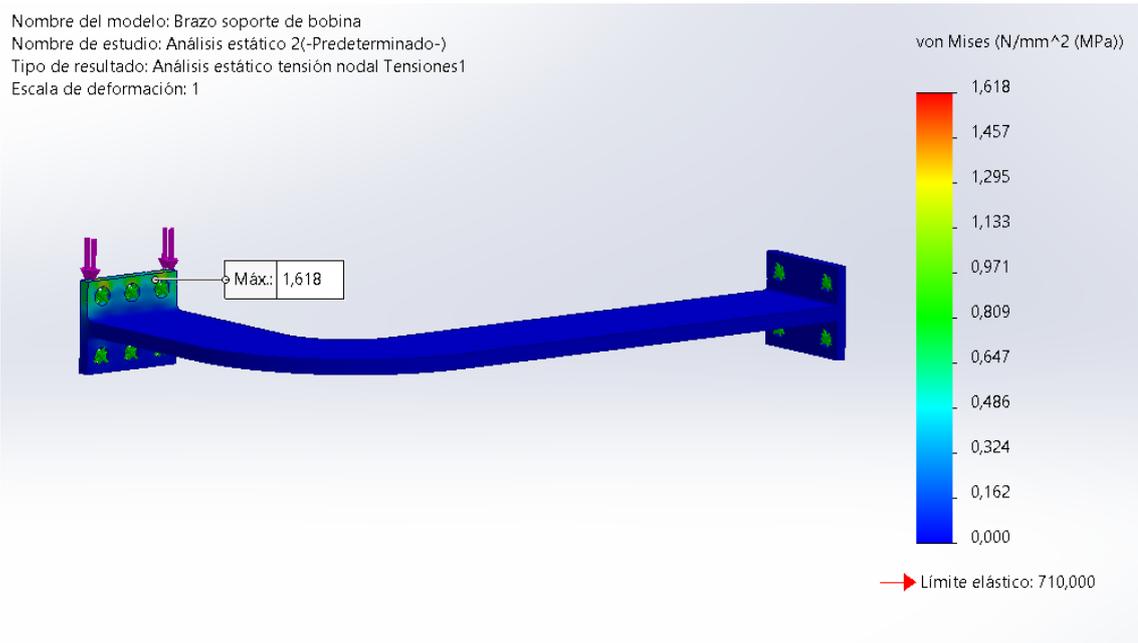


Ilustración 56. Cálculo de tensiones de von Mises en tornillos de brazo de soporte

6.3.3 Análisis fatiga de brazo soporte

La cantidad de ciclos es aceptable teniendo en cuenta que se ha seleccionado en el análisis de fatiga que la carga total de la pistola va a estar subiendo y bajando para mayorar el análisis.

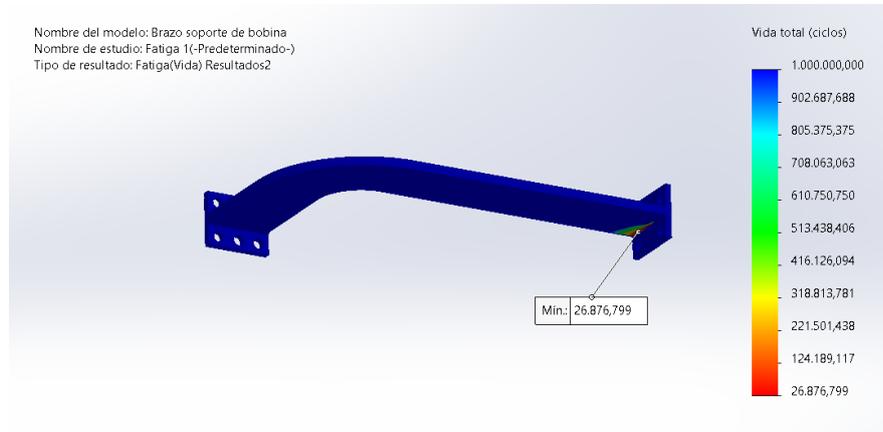


Ilustración 57. Ciclos de análisis de fatiga de brazo de soporte

En un futuro rediseño de este componente, se podría mejorar su resistencia eligiendo un perfil geométrico distinto, por ejemplo, un perfil de forma IPE adaptado a las dimensiones de la herramienta ya que ofrecería mayor inercia y menores tensiones, sin embargo, su manufactura también sería más costosa.



Ilustración 58. Perfil IPE

6.3.4 Conclusiones análisis de brazo soporte

Conforme se ha descrito a lo largo del punto, el material final elegido para el conformado del componente de brazo soporte va a ser el acero AISI 4340, por el factor delimitante que han supuesto los desplazamientos de la pieza en su unión con el acople a la pistola donde se ubica la carga.

Brazo soporte	Límite elástico (MPa)	Análisis voladizo (MPa)	Desplazamientos (mm)	Fatiga (ciclos)
Aluminio 6061 T6	275	205,91	12,93	—
Acero AISI 4340	710	206,12	4,66	26876

Tabla 5. Conclusiones de resultados de análisis de brazo de soporte



7 Bibliografía

- [1] “AL METAL Especialistas en tornillería, Consultado el 02/03/2024” <https://www.tornillos-online.com/912a4es-1.html>
- [2] McMASTER-CARR, Arandelas de uso general de acero, Consultado el 02/03/2024”
<https://www.mcmaster.com/catalog/130/3678/98687A112>
- [3] McMASTER-CARR, Tuercas de acero y acero cincado ISO 4161, Consultado el 02/03/2024”
<https://www.mcmaster.com/catalog/130/3650/95003A207>



CAPÍTULO VI

Selección de procesos de fabricación

Diseño de útiles y mecanismos necesarios para automatizar el proceso de ensamblaje y montaje de pallets basado en robots industriales



CAPÍTULO VI · Selección de procesos de fabricación

1 Contenido

1	Contenido	2
2	Índice de Ilustraciones.....	3
3	Fabricación de patillas	5
3.1	Análisis de procesos para patillas.....	5
3.2	Corte por arco de plasma	7
3.3	Mecanizado de agujeros de patillas	8
3.4	Doblado de patillas.....	10
3.5	Refuerzo	11
4	Fabricación de brazo soporte	13
4.1	Soldadura de acero AISI 4340.....	14
4.2	Fabricación de acople de brazo con panel de soporte	15
4.3	Planeado por herramienta fija	17
4.4	Taladrado de roscas.....	17
5	Fabricación de panel de soporte	18
6	Fabricación de acople a pistola	18
6.1	Forjado de acople.....	19
7	Fabricación de amortiguación	20
7.1	Fabricación de panel de unión con robot.....	21
7.2	Mecanizado con fresadora	21
7.2.1	Planeado.....	21
7.2.2	Fresado de forma	23
8	Bibliografía.....	25



2 Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Modelo 3D de patilla superior con refuerzo.....	5
Ilustración 2. Anuncio de placa de aluminio 6061 de Mingtai Aluminum	5
Ilustración 3. Procesos de fabricación tras filtrado por espesor máximo de 4 mm	6
Ilustración 4. Gráfico comparativo de coste económico y velocidad de corte de procesos de corte	6
Ilustración 5. Gráfico comparativo de tolerancias y velocidad de corte de procesos de corte.....	7
Ilustración 6. Corte por arco de plasma por CNC.....	7
Ilustración 7. Croquis de funcionamiento de corte por arco de plasma	8
Ilustración 8. Croquis de punteado	8
Ilustración 9. Croquis de taladrado	10
Ilustración 10. Croquis de conformado en prensa	10
Ilustración 11. Modelo 3D de patilla inferior	11
Ilustración 12. Refuerzo de patilla superior	11
Ilustración 13. Croquis de funcionamiento de soldadura TIG	12
Ilustración 14. Anuncio de varillas de soldadura WIG ER 5356.....	12
Ilustración 15. Croquis de funcionamiento de soldadura MIG.....	12
Ilustración 16. Anuncio de cable de aluminio MIG MAG ER4043	13
Ilustración 17. Modelo 3D de brazo soporte.....	13
Ilustración 18. Anuncio de placa de acero AISI 4340 de Online Metals.....	13
Ilustración 19. Modelo 3D de acople de brazo con panel de soporte.....	15
Ilustración 20. Procesos aptos tras límites de acople de brazo con panel de soporte	16
Ilustración 21. Croquis de fresado y cepillado	16
Ilustración 22. Gráfico de comparación de tolerancia y coste de lote de unidades.....	16
Ilustración 23. Croquis de cepillado	17
Ilustración 24. Brocas de taladro para roscado	17
Ilustración 25. Modelo 3D de panel de soporte.....	18
Ilustración 26. Modelo 3D de ensamblaje de acoples de brazo a pistola	18
Ilustración 27. Procesos restantes después de límites de acople de brazo a pistola	19
Ilustración 28. Gráfico comparativo de tolerancias y coste por lote de piezas de forjados	19
Ilustración 29. Croquis de proceso de forjado	20
Ilustración 30. Modelo 3D de ensamblaje de amortiguación	20
Ilustración 31. Modelo 3D de panel de unión a robot	21
Ilustración 32. Croquis de fresado planeado.....	21
Ilustración 33. Croquis de fresado de forma	23



3 Índice de tablas

Tabla 1. Velocidades de corte recomendadas	9
Tabla 2. Selección de velocidad de giro (rpm).....	9
Tabla 3. Velocidad de corte recomendada para fresado de aluminio magnesio	22
Tabla 4. Velocidad de giro recomendada para herramienta de 80 mm de diámetro	22
Tabla 5. Velocidad de corte recomendada para fresado de forma	23
Tabla 6. Velocidad de giro seleccionada para fresado de forma	24

4 Fabricación de patillas

4.1 Análisis de procesos para patillas

Para la fabricación de las patillas se ha de tener en cuenta que hay que fabricarlas con la aleación de aluminio 6061 T6 tal y como se ha diseñado anteriormente.

A continuación, hay que analizar los distintos elementos para tener en cuenta de la pieza como son: el espesor de la pieza, los agujeros para los tornillos, la geometría de la pieza, y la unión del refuerzo; los cuales se pueden visualizar en la Ilustración 1.

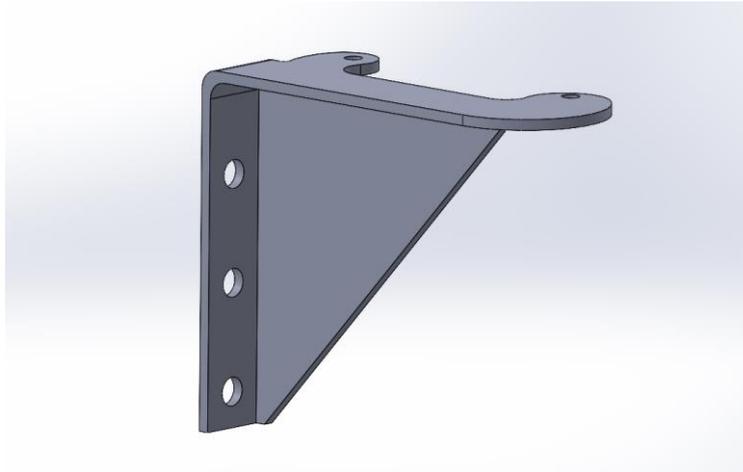


Ilustración 1. Modelo 3D de patilla superior con refuerzo

El primer paso a la hora de seleccionar los procesos de fabricación es filtrar por el material, es decir, aleación de aluminio 6061 T6. Como las patillas y el refuerzo tienen un espesor de 3 mm, se parte de una placa de este espesor para fabricar el componente, y la empresa “Mingtai Aluminum [1]” es proveedor de estas a medida y será el proveedor de aluminio del resto de piezas del proyecto. La Ilustración 2 muestra como esta empresa oferta el aluminio deseado.

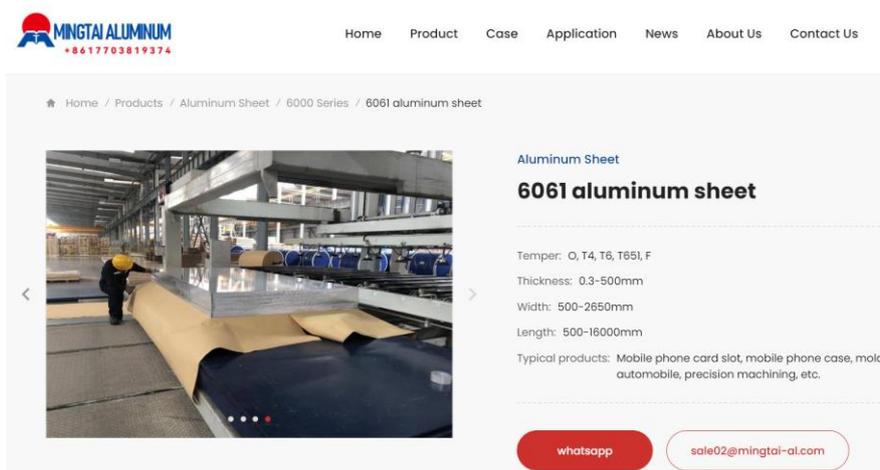


Ilustración 2. Anuncio de placa de aluminio 6061 de Mingtai Aluminum

Una vez escogido el material, se asigna que el espesor de la pieza va a ser como mínimo de 3 mm. Así que se añade este límite en la filtración de procesos, que como se puede comprobar en la Ilustración 3, filtra muchos de ellos.

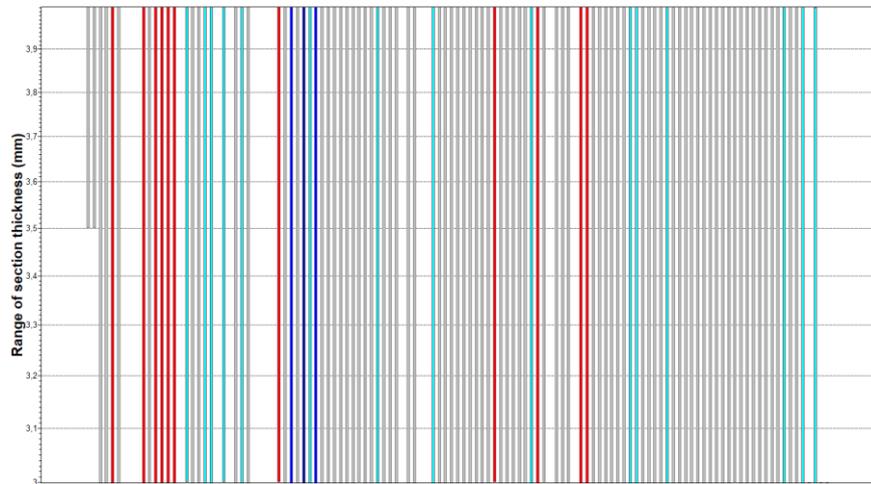


Ilustración 3. Procesos de fabricación tras filtrado por espesor máximo de 4 mm

Dado que la geometría de la patilla es plana, se podría barajar la posibilidad de darle forma a la pieza por troquelado, sin embargo, debido a su relativo elevado espesor para este proceso, se va a plantear por un proceso de corte.

Así que se crea un gráfico comparativo de la velocidad de corte con respecto al coste relativo de la herramienta, y otro respecto a las tolerancias; para poder de esta manera escoger el mejor procedimiento y más adecuado.

Como se puede comprobar en la Ilustración 4 no todos los procesos de corte sirven para el aluminio escogido, sin embargo, existen tres opciones: corte por plasma, sierra circular y sierra vertical.

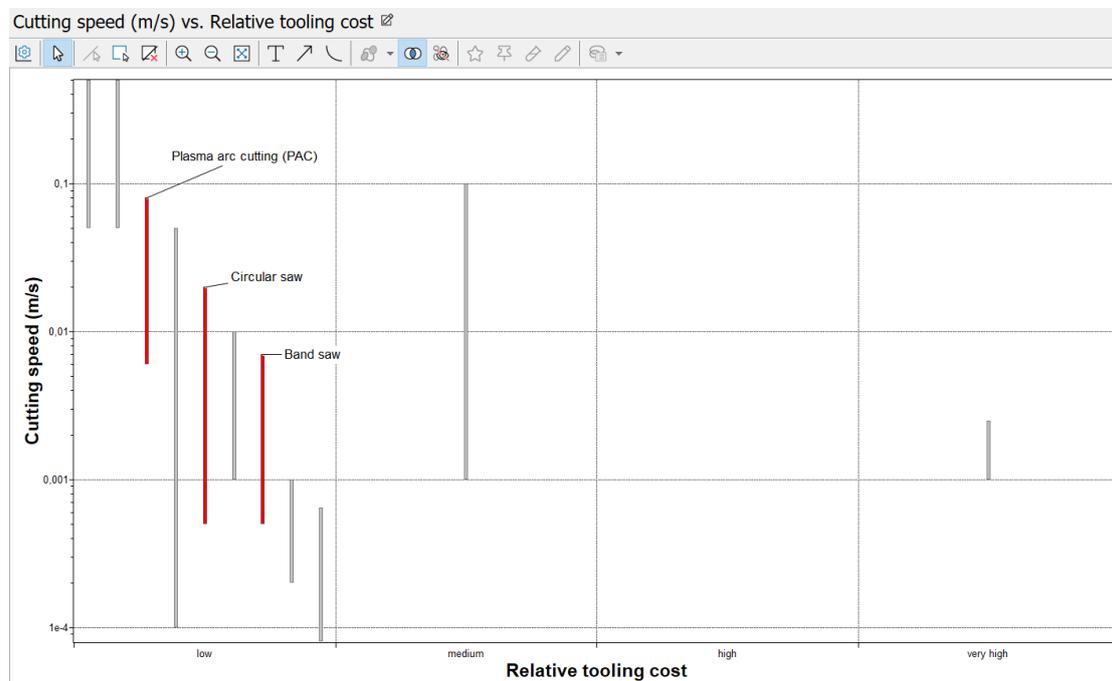


Ilustración 4. Gráfico comparativo de coste económico y velocidad de corte de procesos de corte

El corte por plasma va a ser el elegido para dar forma a la patilla ya que además de ser el más barato en cuanto a coste relativo de herramientas y más rápido, también cuenta con buenas tolerancias como se ve en la Ilustración 5.

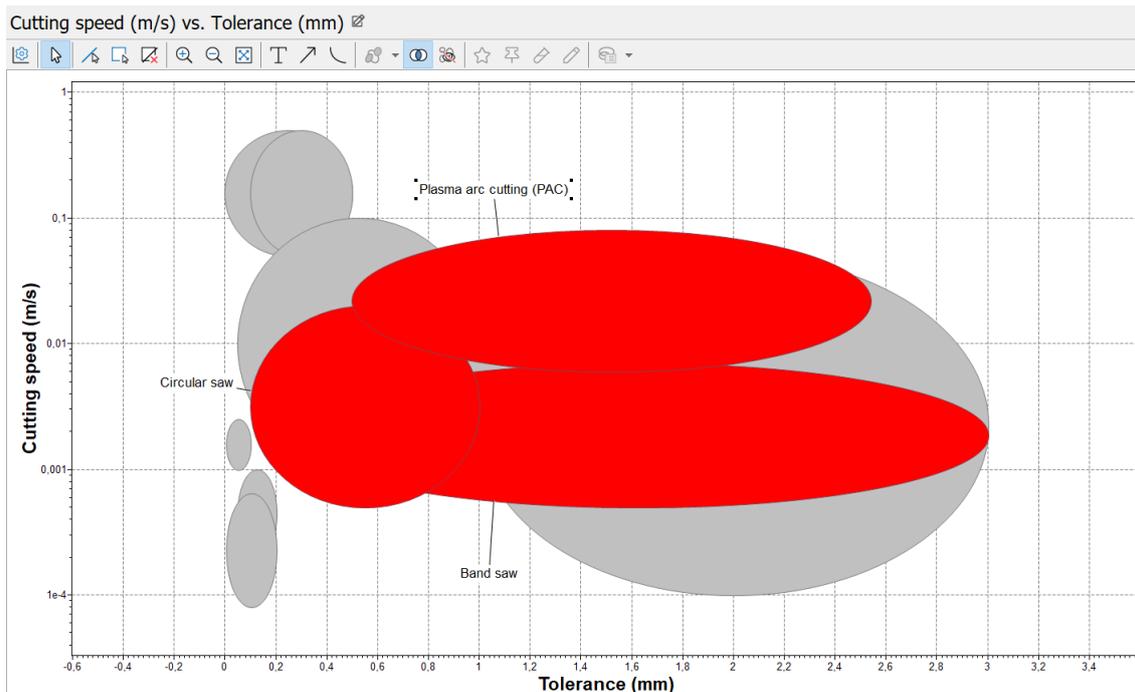


Ilustración 5. Gráfico comparativo de tolerancias y velocidad de corte de procesos de corte

A parte, se pueden generar geometrías más complicadas que con las sierras debido a que la tecnología de control numérico CNC contempla la posibilidad del corte por arco de plasma, y al tener esas curvas tangentes en la geometría de la patilla es recomendable utilizar este método, tal y como se visualiza en Ilustración 6.



Ilustración 6. Corte por arco de plasma por CNC

4.2 Corte por arco de plasma

“El corte por arco de plasma es un proceso de corte de metales que utiliza una corriente de gas ionizado a alta temperatura que fluye a través de una boquilla enfriada por agua a alta velocidad. Se forma un arco entre el electrodo y la pieza de trabajo, que está limitado por una boquilla de cobre de diámetro fino.

El oxígeno oxida el material de la pieza de trabajo y se funde mediante una reacción exotérmica. Luego, el metal fundido se aleja de la línea de corte. Las temperaturas pueden alcanzar hasta 20.000°C. Se encuentran disponibles sistemas manuales (portátiles) y automatizados. Los gases del plasma incluyen argón, hidrógeno, nitrógeno y mezclas, además de aire y oxígeno. El PAC tiene una velocidad de corte más alta y produce una ZAC más pequeña que el corte con oxicombustible [2]". En la Ilustración 7 se ve un croquis del funcionamiento de este proceso.

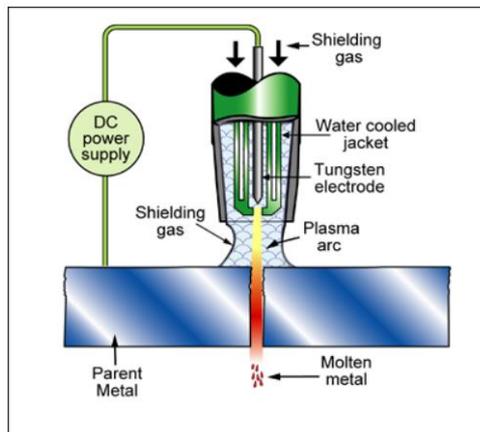


Ilustración 7. Croquis de funcionamiento de corte por arco de plasma

4.3 Mecanizado de agujeros de patillas

A continuación, se contemplará el mecanizado de los agujeros donde van los tornillos, que, dependiendo del volumen de producción y demanda de fabricación de la herramienta, se valorará realizar este mecanizado mediante control numérico o manual.

Conforme se suele hacer en la mayoría de los casos que se quiere realizar un agujero, el taladrado será la herramienta escogida, que con la broca adecuada mecanizará los agujeros. En el caso de control numérico todo se fabrica de manera automática, sin embargo, si se realizara de forma manual hay que seguir un procedimiento concreto.

El primer paso será amordazar la pieza de manera correcta, como los agujeros son pasantes en este componente, la pieza no deberá tener nada pegado a la zona a taladrar.

Después se medirá y trazará con un equipo de medición preciso y de marcaje, los centros de donde se desea que queden los agujeros, para posteriormente golpear con el contrapunchón y el martillo los centros para generar una pequeña hendidura donde se situará la punta del taladro.

A continuación, se pasa al punteado, que servirá para iniciar el agujero y que la broca posteriormente no se desvíe como en la Ilustración 8. Aunque antes de iniciarlo, hace falta un centrador para colocar la pieza donde corresponda y alinear el taladro con el agujero. Para el punteado, hace falta una broca de punto para conformar el agujero que evita el desvío de la broca mencionado anteriormente y para todas las operaciones de mecanizado con el taladro se recomienda utilizar taladrina para refrigerar tanto la broca como la pieza.

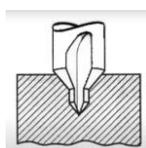


Ilustración 8. Croquis de punteado

Para una aleación de aluminio con magnesio como la seleccionada se debe elegir una velocidad de corte recomendada de 125 m/min. Una vez escogida esta magnitud, hay que elegir la velocidad de giro del taladro en la Tabla 1.

VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA (m./min.)											
Material a Mecanizar	Torneado		Fresado		Taladrado	Material a Mecanizar	Torneado		Fresado		Taladrado
	HSS	Cermet	HSS	Cermet			HSS	HSS	Cermet	HSS	
Acero	D 28	110	20	30	24	Aluminio Magnesio	D 140	350	114	300	
400-500 N/mm ²	A 40	140	30	100	24	Latón dúctil	A 170	400	160	350	125
Acero	D 22	80	18	65	20	Aleaciones de Al	D 90	300	70	250	
500-600 N/mm ²	A 30	90	24	70	20	Latón duro	A 120	350	98	300	80
Acero	D 18	70	16	60	16	Cupro-aluminio	D 20	75	16	60	
600-850 N/mm ²	A 24	80	22	70	16		A 24	90	22	80	18
Acero	D 16	60	14	50	14	Cobre	D 36	130	28	100	
850-1100 N/mm ²	A 18	70	16	60	14		A 46	150	40	140	32
Acero	D 10	40	8	30	8	Grafito para	D 10	35			
1100-1400 N/mm ²	A 12	45	10	35	8	Electrodos	A 12	40			9
Acero	D 8	30	6	25	6	Materiales	D 30	100	24	80	
1400-1800 N/mm ²	A 10	35	8	30	6	Plásticos	A 50	150	30	100	26
Acero Moldeado	D 20	75	16	55	18		D 42	150	34	125	
380 N/mm ²	A 24	85	20	75	18	Bronce	A 56	170	46	150	38
Acero Moldeado	D 18	70	14	50	16		D 18	70	14	60	
450 N/mm ²	A 20	80	16	60	16	Bronce Fosforoso	A 30	100	20	90	16
Acero Moldeado	D 14	55	12	45	12	Fundición de Hierro	D 22	80	18	70	
520 N/mm ²	A 16	60	14	55	12	150 N/mm ²	A 26	90	24	85	20
Acero aleado	D 3	10			3	Fundición de Hierro	D 20	70	16	60	
12% Mn	A 4	15			3	180 N/mm ²	A 24	85	22	80	18
Acero inoxidable	D 8	30	4	15	6	Fundición de Hierro	D 16	60	14	55	
	A 14	55	10	35	6	220 N/mm ²	A 20	70	20	70	14
Metal Monel	D 15	60	12	45	12	Fundición de Hierro	D 12	40	10	35	
	A 18	70	14	55	12	260 N/mm ²	A 14	55	14	55	11

HSS = Hla. de Acero Rápido D = Desbaste A = Acabado

Tabla 1. Velocidades de corte recomendadas

Como se aprecia en la Tabla 2, no aparecen todos los diámetros ya que son solo velocidades recomendadas, así que se tiene que escoger la más próxima. Por tanto, para una velocidad de 125 m/min, los tres agujeros principales de 8 mm de diámetro se realizarán a una velocidad de 3979 rpm, y para los agujeros superiores de 5 mm de conexión con la pistola, una de 7958 rpm.

DIÁMETRO mm	SELECCIÓN DE VELOCIDAD DE GIRO (r.p.m.)																	
	Velocidad de Corte (m/min)																	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	100	125	150	200	250	300
5	1	637	955	1273	1592	1910	2228	2546	2865	3183	3820	4775	6366	7958	9549	12732	15915	19099
10	159	318	477	637	796	955	1114	1273	1432	1592	1910	2387	3183	3979	4775	6366	7958	9549
15	106	212	318	424	531	637	743	849	955	1061	1273	1592	2122	2653	3183	4244	5305	6366
20	80	159	239	318	398	477	557	637	716	796	955	1194	1592	1989	2387	3183	3979	4775
25	64	127	191	255	318	382	446	509	573	637	764	955	1273	1592	1910	2546	3183	3820
30	53	106	159	212	265	318	371	424	477	531	637	796	1061	1326	1592	2122	2653	3183
35	45	91	136	182	227	273	318	364	409	455	546	682	909	1137	1364	1819	2274	2728
40	40	80	119	159	199	239	279	318	358	398	477	597	796	995	1194	1592	1989	2387
45	35	71	106	141	177	212	248	283	318	354	424	531	707	884	1061	1415	1768	2122
50	32	64	95	127	159	191	223	255	286	318	382	477	637	796	955	1273	1592	1910
55	29	58	87	116	145	174	203	231	260	289	347	434	579	723	868	1157	1447	1736
60	27	53	80	106	133	159	186	212	239	265	318	398	531	663	796	1061	1326	1592
65	24	49	73	98	122	147	171	196	220	245	294	367	490	612	735	979	1224	1469
70	23	45	68	91	114	136	159	182	205	227	273	341	455	568	682	909	1137	1364
75	21	42	64	85	106	127	149	170	191	212	255	318	424	531	637	849	1061	1273
80	20	40	60	80	99	119	139	159	179	199	239	298	398	497	597	796	995	1194
85	19	37	56	75	94	112	131	150	169	187	225	281	374	468	562	749	936	1123
90	18	35	53	71	88	106	124	141	159	177	212	265	354	442	531	707	884	1061
95	17	34	50	67	84	101	117	134	151	168	201	251	335	419	503	670	838	1005
100	16	32	48	64	80	95	111	127	143	159	191	239	318	398	477	637	796	955
105	15	30	45	61	76	91	106	121	136	152	182	227	303	379	455	606	758	909
110	14	29	43	58	72	87	101	116	130	145	174	217	289	362	434	579	723	868
115	14	28	42	55	69	83	97	111	125	138	166	208	277	346	415	554	692	830
120	13	27	40	53	66	80	93	106	119	133	159	199	265	332	398	531	663	796
125	13	25	38	51	64	76	89	102	115	127	153	191	255	318	382	509	637	764
130	12	24	37	49	61	73	86	98	110	122	147	184	245	306	367	490	612	735
135	12	24	35	47	59	71	83	94	106	118	141	177	236	295	354	472	589	707
140	11	23	34	45	57	68	80	91	102	114	136	171	227	284	341	455	568	682
145	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110	132	165	220	274	329	439	549	659
150	11	21	32	42	53	64	74	85	95	106	127	159	212	265	318	424	531	637

Tabla 2. Selección de velocidad de giro (rpm)

Aun habiendo hecho esta selección, habrá que escoger posteriormente la velocidad del taladro más próxima a la escogida.

Para el taladrado del agujero se escoge una broca del diámetro correspondiente para cada agujero asegurándose que el cono morse es el correcto para el portabrocas, y tras haberse asegurado de que el agujero está centrado, se realiza el taladrado como en la Ilustración 9, en este caso pasante en ambos casos de los agujeros.

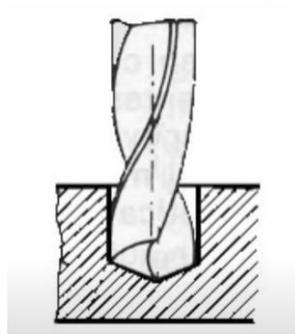


Ilustración 9. Croquis de taladrado

4.4 Doblado de patillas

Para dar la forma final de 90 grados a la patilla, se debe utilizar un último proceso de conformado como el de la Ilustración 10, que consiste en el doblado de esta. Mediante una máquina hidráulica con un troquel con un ángulo a 90° se presiona la pieza para darle esta forma. Como el espesor en este caso son 3 mm y el aluminio escogido dispone de muy buena formabilidad, se realizará en frío.

“El conformado en prensa cubre una variedad de procesos de conformado de láminas realizados mediante un troquel y una prensa. Los procesos utilizados incluyen corte, estirado, doblado, conformado, acuñación y estampado.

Estos procesos se pueden realizar consecutivamente para formar formas complejas. Sin embargo, todas las formas producidas por este proceso tienen un espesor de sección transversal uniforme.

Las herramientas son dedicadas y, por lo tanto, los costos de herramientas son altos. Sólo se pueden estampar materiales disponibles en forma de lámina y el espesor está limitado al tamaño de lámina disponible [2]”.

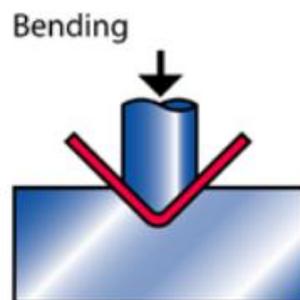


Ilustración 10. Croquis de conformado en prensa

Cabe recalcar que para las patillas inferiores se emplearán los mismos procesos de fabricación que para las patillas superiores debido a que el espesor y el material es el mismo, como se puede ver en la Ilustración 11.

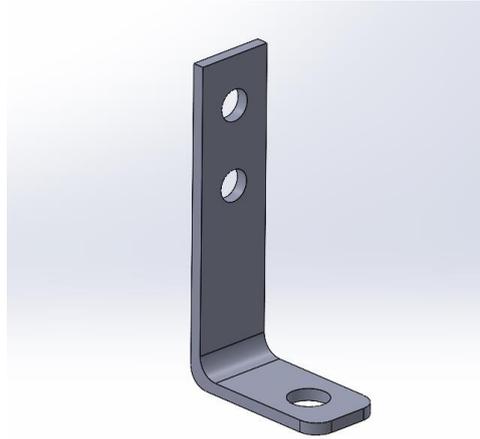


Ilustración 11. Modelo 3D de patilla inferior

Como los agujeros de las patillas son de 8 mm y el de bajo de 10 mm, se emplearán las mismas velocidades seleccionadas anteriormente.

4.5 Refuerzo

Por último, para soldar la plancha de refuerzo de la Ilustración 12 de espesor igual a la patilla, la cual también se habrá conformado por corte de arco plasma anteriormente, se soldará por cualquiera de los dos métodos de soldadura más comunes y compatibles para este material: soldadura MIG o soldadura TIG.

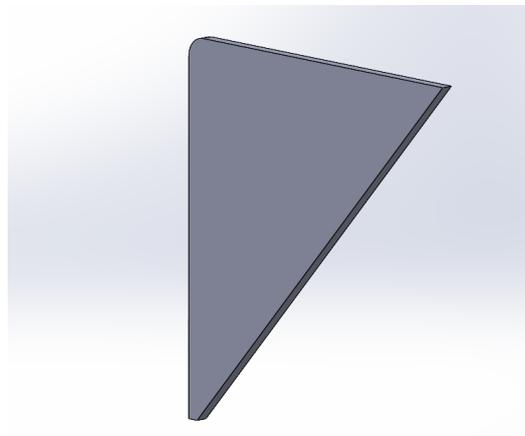


Ilustración 12. Refuerzo de patilla superior

Debido a que el aluminio 6061 T6 es un material con muy buen rendimiento a la soldadura no habrá problemas en utilizar este proceso.

“En la soldadura TIG, la corriente necesaria se suministra a través del electrodo de tungsteno – el corazón del proceso de soldadura. De este electrodo de tungsteno sale el arco, que calienta y licua el material a soldar.

Mientras tanto, el gas de protección sale por la boquilla de gas y protege el material calentado y el baño de soldadura líquido de las reacciones químicas con el aire del entorno.

Este proceso garantiza cordones de soldadura de alta calidad [3].”

SOLDADURA TIG

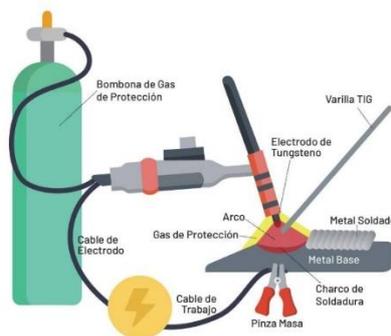


Ilustración 13. Croquis de funcionamiento de soldadura TIG

En este caso se utilizarían “varillas de aluminio [4]” como las de la Ilustración 14, de alta aleación WIG ER 5356 ya que dan resultados con alta resistencia.

The screenshot shows an Amazon product listing for 'WIG ER 5356 - Varillas de soldadura (alambre de soldadura, aluminio de alta aleación, diámetro de 1,6, longitud 500 mm, 1 kg)'. The price is 20.90 €. The listing includes a star rating of 4.2, a 'Low price across 2 stores' badge, and a table of sizes and prices. The product is sold by Vector Welding GmbH.

Größe	Größe 1,6	Größe 2,4
Preis	20,90 €	20,90 €

- Longitud: 500 mm
- 1 kg de varillas de soldadura por paquete
- Diámetro de 1,6
- Aluminio de alta aleación, ER 5356

Ilustración 14. Anuncio de varillas de soldadura WIG ER 5356

“La soldadura MIG/MAG se conoce también como GMAW o soldadura de hilo. Es un soldeo por fusión por arco que utiliza un alambre electrodo macizo, en el cual el arco y el baño de soldadura se protegen de la atmósfera por medio de gas suministrado por una fuente externa. Está dividido en dos tipos: MIG (el gas protector es inerte) y MAG (el gas protector es activo). Actualmente, es el proceso más utilizado debido a su alta productividad, permitiendo obtener una velocidad de soldadura muy alta [5]”.

SOLDADURA MIG

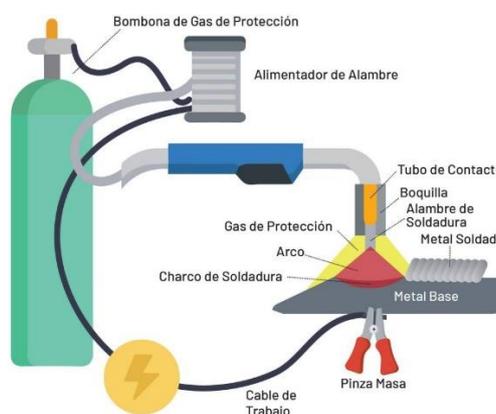


Ilustración 15. Croquis de funcionamiento de soldadura MIG

Por otro lado, para el caso de la soldadura MIG se utilizaría este “cable de aluminio para incorporar en el alimentador de alambre [6]” de la Ilustración 16.



Ilustración 16. Anuncio de cable de aluminio MIG MAG ER4043

5 Fabricación de brazo soporte

El siguiente componente de la Ilustración 17 que se va a fabricar va a ser el brazo de soporte, el cual como se puede comprobar tiene una sección intermedia con un perfil plano rectangular al igual que las patillas.

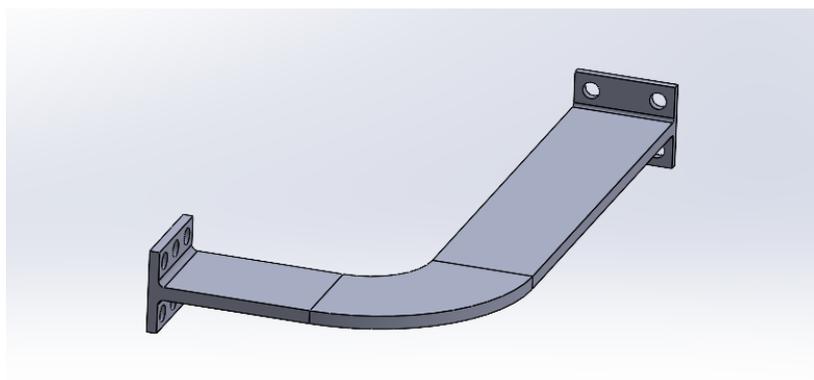


Ilustración 17. Modelo 3D de brazo soporte

En los extremos consta de unas pletinas con agujeros que perpendicularmente unidas al brazo servirán como unión al panel de soporte y al acople de la pistola. Así que, a diferencia de las patillas, en este caso se partirá de una placa de 4 mm de espesor del proveedor “OnlineMetals.com [7]” de la Ilustración 18.

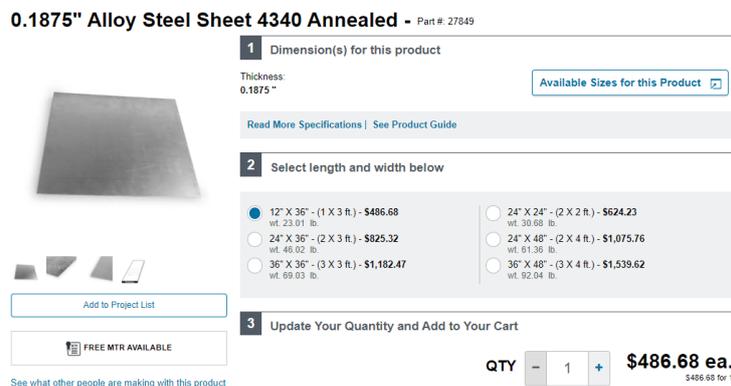


Ilustración 18. Anuncio de placa de acero AISI 4340 de Online Metals

Para los agujeros de este componente se utilizarán las mismas velocidades y procedimiento que en los diámetros de 5 mm anteriores, ya que estos tienen la misma medida y son pasantes también.

Por tanto, la zona intermedia al igual que las patillas se va a fabricar mediante corte por plasma, ya que el acero AISI 4340 es compatible con este procedimiento. Para acelerar el proceso se programará por control numérico, aunque en este caso al tener una geometría más simple se podrían barajar otras alternativas al control numérico para maniobrar el equipo de corte.

Por otro lado, para las pletinas de unión, se va a optar por utilizar un proceso de soldadura que se explicará en el siguiente punto.

5.1 Soldadura de acero AISI 4340

Al igual que con las patillas superiores, se van a unir los dos componentes por soldadura, pero en este caso el material a soldar es acero AISI 4340 cuyo procedimiento es el siguiente:

“Soldadura con electrodos de bajo hidrógeno y un precalentamiento de 400 –570°F (200 – 300° C) para ser mantenido durante la soldadura. Las piezas deben enfriarse lentamente después de soldarlas en lana de vidrio o una manta de tela de asbesto.

- Califique la composición del metal base, si es posible.
- Inspeccione visualmente la herramienta o el troquel para determinar el motivo de la falla y establecer el área exacta de reparación. Registre las dimensiones que se alterarán durante el curso de la reparación como referencia cuando vuelva a mecanizar a las dimensiones originales.
- Áreas defectuosas con máquina, rectificado o hendidura por arco de aire, etc. Si el método de preparación que se va a utilizar es el desbaste por arco de aire, entonces debe ejercitarse el precalentamiento antes de la preparación. La preparación para soldar mediante remecanizado o esmerilado no requiere precalentamiento.
- Precaliente 600 ° – 700 ° F. durante una hora por pulgada de espesor.
- Seleccione el proceso de soldadura apropiado para la condición de reparación encontrada. Elija uno o más de los siguientes procesos de soldadura. El proceso GTAW o TIG se puede soldar usando alambre de relleno tipo ER4340, usando polaridad directa de corriente continua (DCSP) con gas protector 100% argón; o SMAW o proceso de electrodo de varilla; o GMAW o el proceso de soldadura con alambre que usa polaridad inversa de corriente continua (DCRP) para ambos procesos usa 75% de argón, 25% de gas protector de Co₂ con una tasa de flujo de 40 – 60 CFH cuando se usa el proceso con alambre.
- Selección de aleación: seleccione una aleación que cumpla con los requisitos de servicio de la herramienta o troquel mientras está en funcionamiento.
- Golpee cada depósito de soldadura inmediatamente después de romper el arco.
- Elimine todos los recortes, esquinas redondeadas cuadradas, etc.
- Inmediatamente después de soldar, los troqueles deben calentarse nuevamente a una temperatura de precalentamiento de 700 ° para igualar el depósito de soldadura y la temperatura de la herramienta o del troquel antes de enfriar lentamente. Si la temperatura de precalentamiento se ha mantenido durante la soldadura, este paso se puede omitir; por lo tanto, comenzando inmediatamente con el siguiente paso.

- Enfriar lentamente la herramienta soldada o el troquel a temperatura ambiente durante un mínimo de 150 °
- Temple la herramienta soldada o el troquel colocando inmediatamente la sección en el horno a 800 ° durante una hora por pulgada de espesor de la herramienta o troquel.
- Enfriar lentamente a temperatura ambiente.
- Comience con el mecanizado.

Utilice E8018-B2 o ER80S-B2 cuando realice reparaciones de soldaduras o grietas. Estos consumibles tendrán una resistencia más baja que el material EN24 / AISI 4340 Q & T real, aunque ofrecen una metalurgia similar y una soldadura resistente a las grietas.

Para uniones soldadas que requieren resistencia en materiales E24 / AISI 4340, la soldadura se puede realizar utilizando alambre de relleno E10018-D2 o ER10018-D2. Estos consumibles igualan la resistencia, pero tienen un alto riesgo de agrietamiento por hidrógeno, por lo que es obligatorio un precalentamiento adecuado, electrodos de bajo hidrógeno completamente horneados y enfriamiento lento [8]”.

5.2 Fabricación de acople de brazo con panel de soporte

Para la fabricación del acople de la Ilustración 19 que unirá al brazo con el panel de soporte de la herramienta se realizará un pequeño análisis para determinar cuál es el mejor proceso de mecanizado de las pletinas laterales de unión. Por otro lado, los agujeros de 5 mm de estas pletinas se mecanizarán por un taladrado con las velocidades calculadas anteriormente.

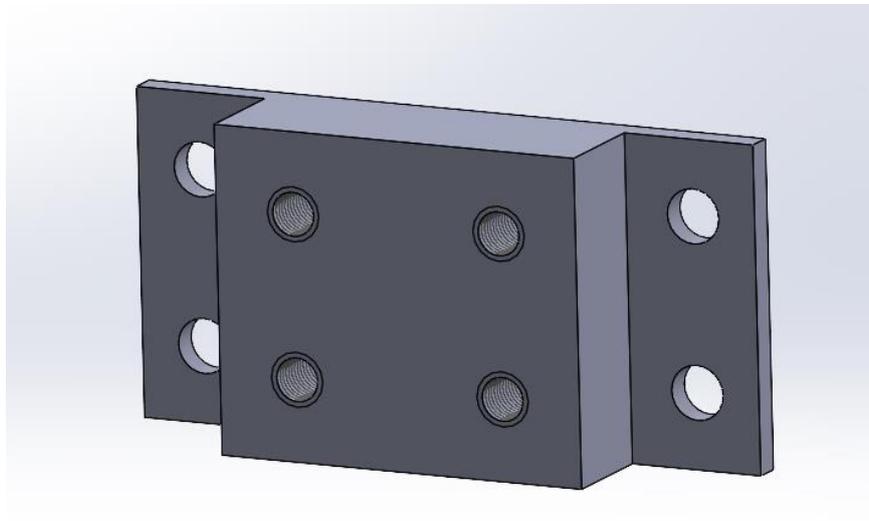


Ilustración 19. Modelo 3D de acople de brazo con panel de soporte

Se aplicará que el aluminio 6061 T6 sea el material para utilizar y se partirá de una placa de este metal de un mínimo de 12,5 mm.

En la Ilustración 20 se visualizarán todos los procesos de mecanizado aptos para este material, para geometrías prismáticas, un rasgo de espesor de entre 2 y 13 mm, y se generará un gráfico para ver cuál de todos ellos tiene unas tolerancias más ajustadas.

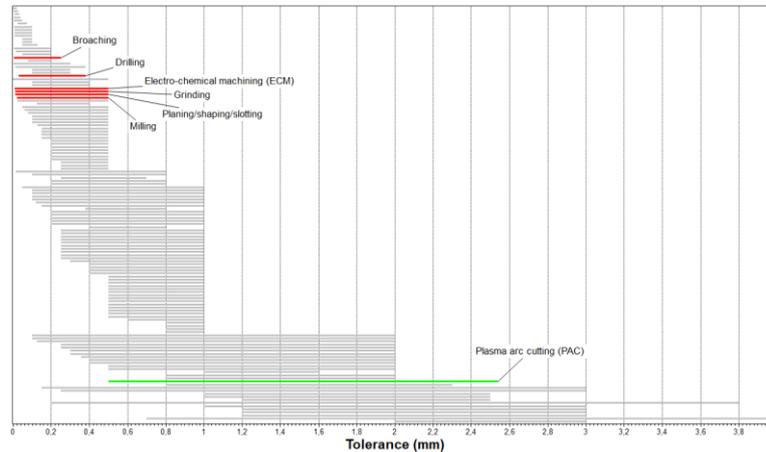


Ilustración 20. Procesos aptos tras límites de acople de brazo con panel de soporte

Conforme se puede observar en la Ilustración 21 se encuentran diversos procesos de mecanizado, sin embargo, como para el caso presente se requiere retirar material de la pieza para mecanizar las pletinas laterales, los procesos más rápidos, sencillos y más indicados para esta aplicación serían el fresado o el planeado o cepillado por herramienta fija.

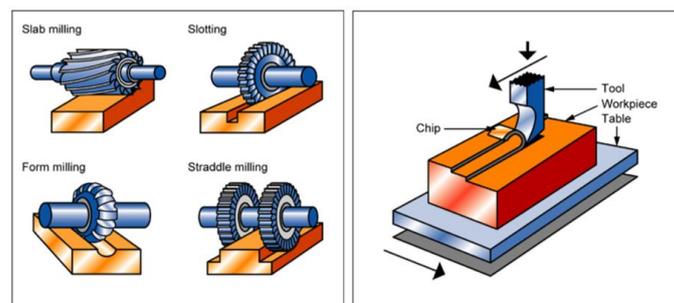


Ilustración 21. Croquis de fresado y cepillado

Cualquiera de los dos procesos podría cumplir la función perfectamente así que se mirará cuál de los dos resulta más barato para un lote de componentes en la Ilustración 22.

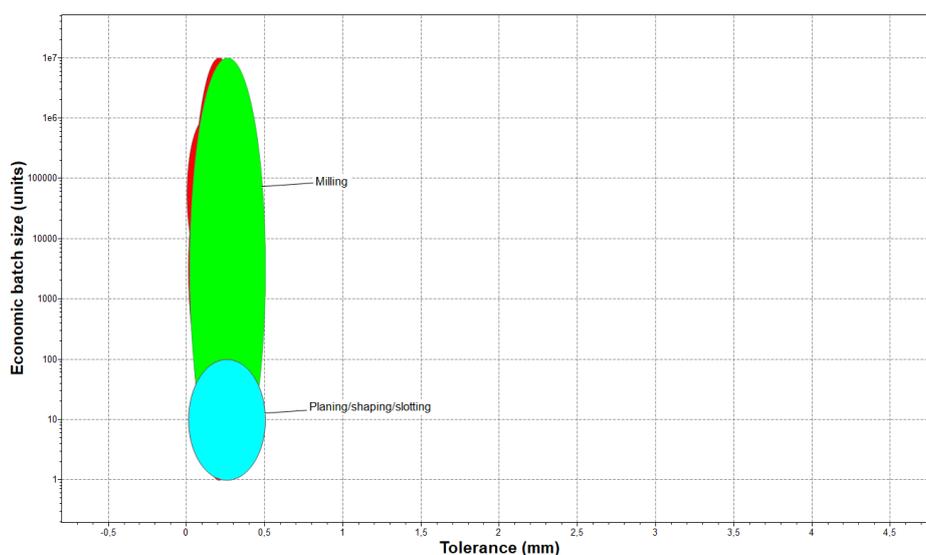


Ilustración 22. Gráfico de comparación de tolerancia y coste de lote de unidades

Sorprendentemente los dos pueden resultar baratos, sin embargo, el planeado por herramienta fija nos asegura que el precio no va a subir, así que este será el escogido.

5.3 Planeado por herramienta fija

“El planeado por herramienta fijo o cepillado es un proceso de mecanizado para eliminar metal de superficies en planos horizontales, verticales o angulares. En este proceso, la pieza de trabajo se mueve alternativamente en un movimiento lineal contra una o más herramientas de un solo punto.

Aunque el cepillado se usa más ampliamente para producir superficies planas en piezas de trabajo grandes, el proceso también se puede usar para producir contornos y una variedad de formas irregulares, como ranuras profundas, ranuras helicoidales y superficies guía internas [2]”.

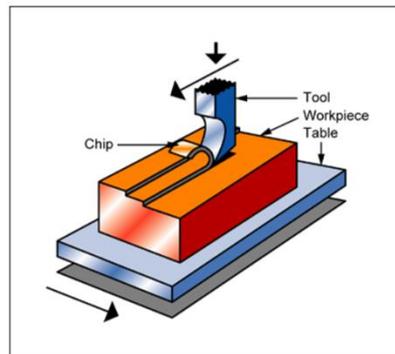


Ilustración 23. Croquis de cepillado

5.4 Taladrado de roscas

Como se puede comprobar, la pieza lleva además de los agujeros de las pletinas, los agujeros de la unión con el brazo, que, a diferencia de los otros, estos son agujeros roscados para una unión con un tornillo.

Los agujeros roscados se realizarán con el mismo procedimiento que el taladrado, sin embargo, para conseguir la rosca, primero se ha de mecanizar un agujero de unas centésimas de milímetro de diámetro más pequeño que la métrica de la rosca que se va a fabricar después. Después de este paso, se introducirá una broca con la métrica y paso de rosca deseado como las de la Ilustración 24 y a la mitad de velocidad de la que se ha seleccionado para el taladrado se mecanizará la rosca.



Ilustración 24. Brocas de taladrado para roscado

6 Fabricación de panel de soporte

Como se aprecia en la Ilustración 25, el panel de soporte tiene una geometría plana de espesor de 10 mm, con multitud de agujeros roscados.

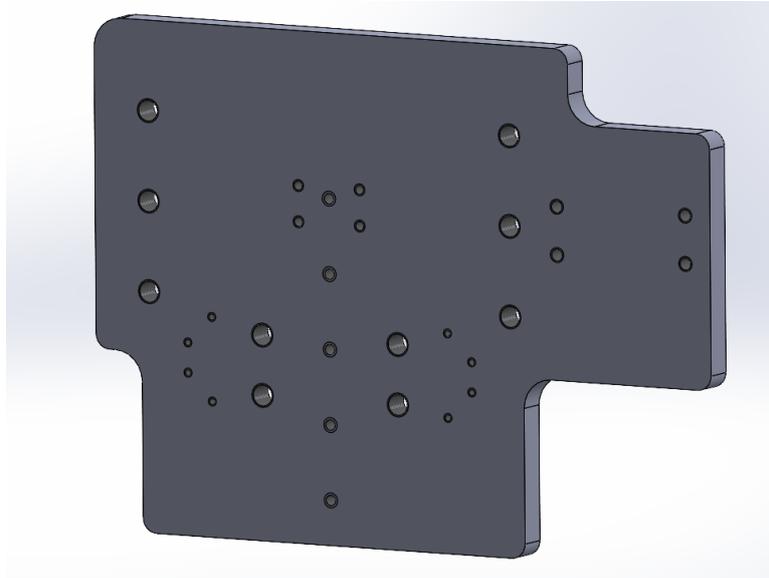


Ilustración 25. Modelo 3D de panel de soporte

El panel como los demás componentes estará fabricado con aluminio 6061 T6, y para su mecanizado se partirá de una placa de este material con el espesor del panel de 10 mm.

Para la geometría perimetral del panel se empleará corte por arco plasma debido al elevado espesor de este como para barajar un troquelado.

Y tal y como se ha desarrollado en el punto anterior los agujeros roscados se fabricarán por el taladrado y el roscado posterior con las velocidades y brocas de los diámetros y pasos de rosca correspondientes.

7 Fabricación de acople a pistola

Para la fabricación del acople del brazo a la pistola, hay que tener en cuenta que su geometría es la más compleja debido a la ergonomía del mango de la pistola, como se puede comprobar en la Ilustración 26.

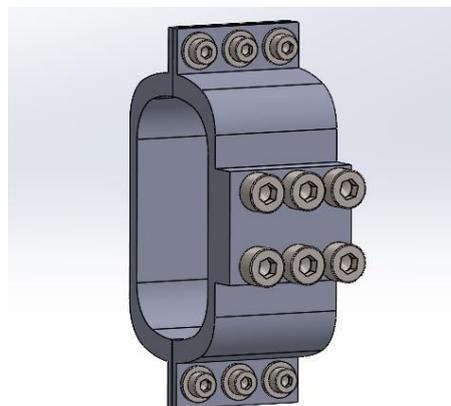


Ilustración 26. Modelo 3D de ensamblaje de acoples de brazo a pistola

Para el análisis del proceso de estos dos componentes hay que saber que se trata de un sólido 3D de forma inclasificable, que tiene un espesor mínimo de 2 mm en la zona de unión, y que además se va a necesitar un proceso de fabricación primario para dar la forma al objeto.

Tras este filtrado, en la Ilustración 27 quedan cuatro procesos posibles compatibles con el aluminio 6061 T6, de los cuales uno está obsoleto.

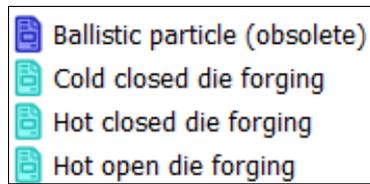


Ilustración 27. Procesos restantes después de límites de acople de brazo a pistola

Haciendo un gráfico comparativo de tolerancias mínimas y coste por lote de piezas en la Ilustración 28, se puede visualizar como el forjado en frío ofrece las mejores tolerancias de manera equilibrada a su coste.

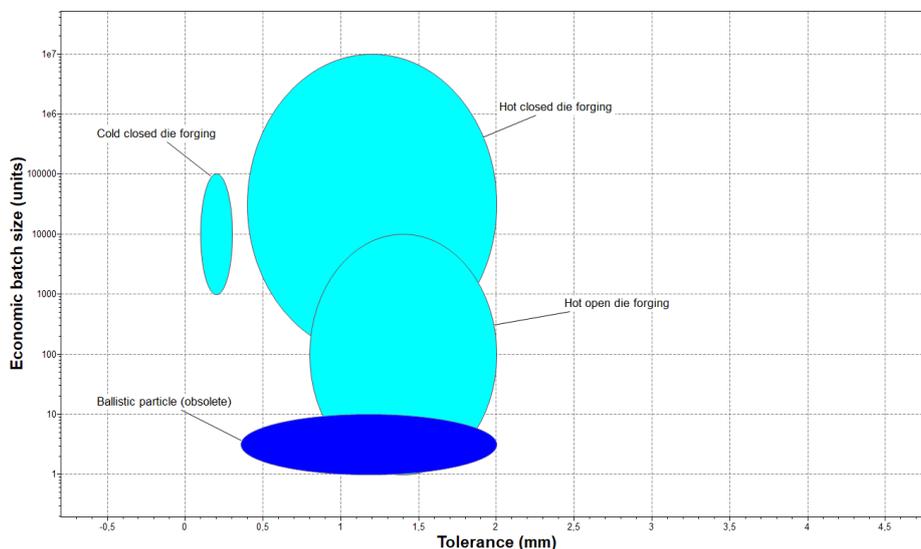


Ilustración 28. Gráfico comparativo de tolerancias y coste por lote de piezas de forjados

Además, el programa proporciona un croquis del proceso de fabricación y la geometría generada tiene similitudes con la pieza que se desea conseguir.

7.1 Forjado de acople

Realmente se debería probar a fabricar la pieza mediante forjado en caliente y forjado en frío para valorar cual de las dos alternativas sería la más recomendable.

“En la forja en matriz cerrada en frío, se coloca un lingote o una palanquilla en una matriz y se le da forma mediante fuerzas de compresión localizadas ejercidas por un martillo o una prensa.

La forja en frío produce componentes con mejor precisión y acabado superficial, y mayor resistencia que los forjados en caliente. Sin embargo, se requieren fuerzas mayores para la deformación, lo que requiere equipos más potentes.

El proceso generalmente se realiza a temperatura ambiente, pero en algunos casos se realiza a temperaturas ligeramente elevadas para proporcionar una mayor ductilidad. Las piezas forjadas con matriz cerrada pueden ser complejas, pero tienen un tamaño limitado [2].

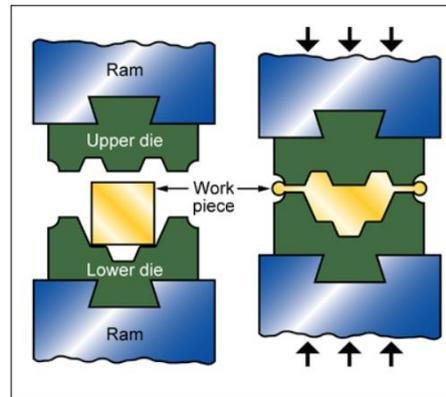


Ilustración 29. Croquis de proceso de forjado

También habría que realizar operaciones de mecanizado posterior para asegurar un buen acabado de la geometría de la pieza, como un fresado o limado.

Por último, igual que en los casos anteriores se realizarán las operaciones de taladrado y roscado pertinentes según el diámetro y métrica de las roscas que corresponda.

8 Fabricación de amortiguación

Tal y como se puede comprobar en la Ilustración 30, la amortiguación está construida por muchos elementos que a continuación se redactará el proceso de fabricación de todos ellos.

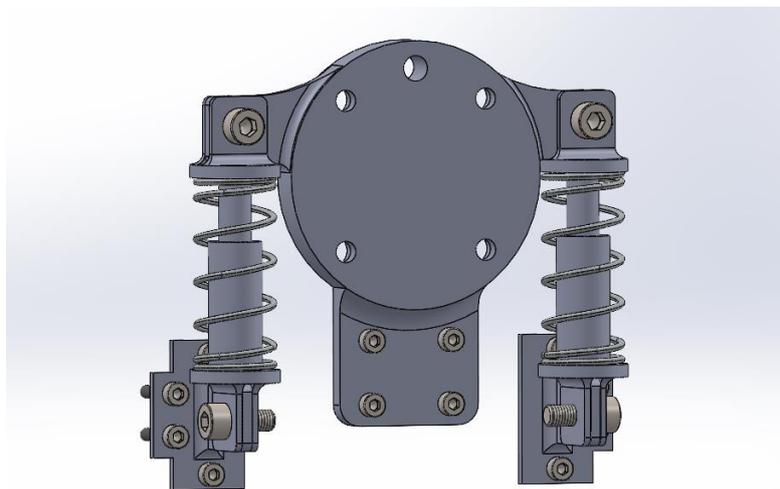


Ilustración 30. Modelo 3D de ensamblaje de amortiguación

Hay que saber que los absorbedores de impacto junto con sus soportes deberán ser fabricados y diseñados a medida por una empresa dedicada a esta industria como ACE Stabilus Company o ENIDINE, ya que los soportes de estos deben tener la geometría exacta particular para encajar con estos, en este caso deben quedar perpendicularmente uno respecto al otro.

8.1 Fabricación de panel de unión con robot

El panel de unión con el robot tiene un espesor de 8 mm similar al del panel de soporte principal siendo un factor para tener en cuenta. Sin embargo, tiene sus respectivos apéndices de unión a los muelles de amortiguación y al carril del sistema de raíl, que tienen un espesor más delgado.

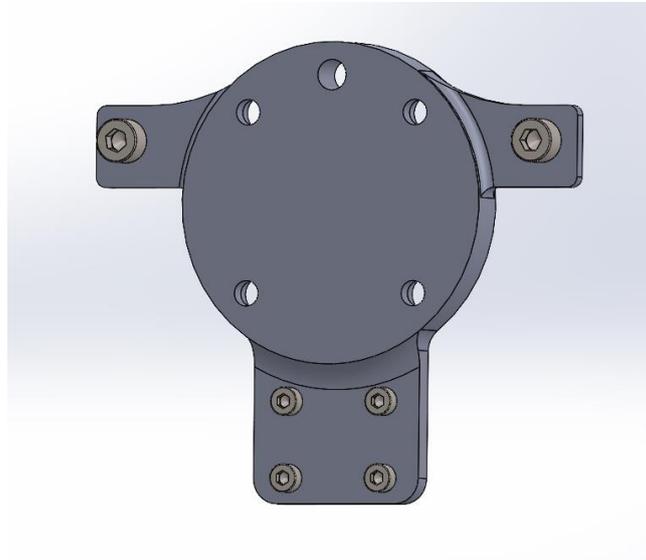


Ilustración 31. Modelo 3D de panel de unión a robot

Tras los estudios anteriores, teniendo en cuenta que el panel de soporte de la herramienta y este panel de unión al robot tienen un espesor similar y ambos son del mismo material, se fabricará esta pieza en primer lugar dándole la geometría perimetral mediante corte por arco de plasma programado por control numérico.

8.2 Mecanizado con fresadora

8.2.1 Planeado

Posteriormente se mecanizarán los salientes de espesor más fino mediante la fresadora, los cuales en este caso se van a conformar por un planeado mediante la herramienta de plaquetas como la de la Ilustración 32.

“En el fresado, el metal se elimina mediante una fresa giratoria de dientes múltiples; cada diente elimina una pequeña cantidad de metal con cada revolución del husillo. Debido a que tanto la pieza de trabajo como la cortadora se pueden mover en más de una dirección al mismo tiempo, se pueden mecanizar superficies que tengan casi cualquier orientación [2]”.

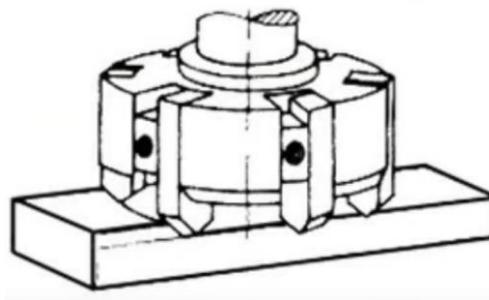


Ilustración 32. Croquis de fresado planeado

En la Tabla 3, se asignará una velocidad de corte de 300 m/min ya que se va a emplear una herramienta de fresado con plaquitas como la de la imagen anterior y se mecanizará un aluminio aleado con magnesio principalmente como lo es el aluminio 6061 T6.

VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA (m./min.)														
Material a Mecanizar	Torneado			Fresado			Talastrado	Material a Mecanizar	Torneado			Fresado		Talastrado
	HSS	Cermet	HSS	Cermet	HSS	HSS			Cermet	HSS	Cermet	HSS	Cermet	
Acero	D 28	110	20	80				Aluminio Magnesio	D 140	350	114	300		
400-500 N/mm ²	A 40	140	30	100	24			Latón dúctil	A 170	400	160	350	125	
Acero	D 22	80	18	65				Aleaciones de Al	D 90	300	70	250		
500-600 N/mm ²	A 30	90	24	70	20			Latón duro	A 120	350	98	300	80	
Acero	D 18	70	16	60				Cupro-aluminio	D 20	75	16	60		
800-850 N/mm ²	A 24	80	22	70	16			A 24	90	22	80	18		
Acero	D 16	60	14	50				Cobre	D 36	130	28	100		
850-1100 N/mm ²	A 18	70	16	60	14			A 46	150	40	140	32		
Acero	D 10	40	8	30				Grafito para Electrodo	D 10	35				
1100-1400 N/mm ²	A 12	45	10	35	8			Materiales Plásticos	A 12	40				9
Acero	D 8	30	6	25				Bronce	D 30	100	24	80		
1400-1800 N/mm ²	A 10	35	8	30	6			Bronce Fosforoso	A 50	150	30	100	26	
Acero Moldeado	D 20	75	16	55				Fundición de Hierro 150 N/mm ²	D 42	150	34	125		
380 N/mm ²	A 24	85	20	75	18			D 22	80	18	70			
Acero Moldeado	D 18	70	14	50				A 26	90	24	85	20		
450 N/mm ²	A 20	80	16	60	16			D 20	70	16	60			
Acero Moldeado	D 14	55	12	45				A 24	85	22	80	18		
520 N/mm ²	A 16	60	14	55	12			D 16	60	14	55			
Acero aleado 12% Mn	D 3	10			3			A 20	70	20	70	14		
Acero inoxidable	D 8	30	4	15				D 12	40	10	35			
Acero inoxidable	A 14	55	10	35	6			A 14	55	14	55	11		
Acero inoxidable	D 15	60	12	45										
Acero inoxidable	A 18	70	14	55	12									

Tabla 3. Velocidad de corte recomendada para fresado de aluminio magnesio

Sabiendo la velocidad de corte se selecciona la velocidad de giro de la herramienta en la Tabla 4, que para una herramienta de 80 mm de diámetro se asigna una velocidad de 1194 rpm.

DIAMETRO mm	SELECCIÓN DE VELOCIDAD DE GIRO (r.p.m.)																	
	Velocidad de Corte (m/min)																	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	100	125	150	200	250	300
5	1	637	955	1273	1592	1910	2228	2546	2865	3183	3820	4775	6366	7958	9549	12732	15915	19099
10	159	318	477	637	796	955	1114	1273	1432	1592	1910	2387	3183	3979	4775	6366	7958	9549
15	106	212	318	424	531	637	743	849	955	1061	1273	1592	2122	2653	3183	4244	5305	6366
20	80	159	239	318	398	477	557	637	716	796	955	1194	1592	1989	2387	3183	3979	4775
25	64	127	191	255	318	382	446	509	573	637	764	955	1273	1592	1910	2546	3183	3820
30	53	106	159	212	265	318	371	424	477	531	637	796	1061	1326	1592	2122	2653	3183
35	45	91	136	182	227	273	318	364	409	455	546	682	909	1137	1364	1819	2274	2728
40	40	80	119	159	199	239	279	318	358	398	477	597	796	995	1194	1592	1989	2387
45	35	71	106	141	177	212	248	283	318	354	424	531	707	884	1061	1415	1768	2122
50	32	64	95	127	159	191	223	255	286	318	382	477	637	796	955	1273	1592	1910
55	29	58	87	116	145	174	203	231	260	289	347	434	579	723	868	1157	1447	1736
60	27	53	80	106	133	159	186	212	239	265	318	398	531	663	796	1061	1326	1592
65	24	49	73	98	122	147	171	196	220	245	294	367	490	612	735	979	1224	1469
70	23	45	68	91	114	136	159	182	205	227	273	341	455	568	682	909	1137	1364
75	21	42	64	85	106	127	149	170	191	212	255	318	424	531	637	849	1061	1273
80	20	40	60	80	99	119	139	159	179	199	239	298	398	497	597	796	995	1194
85	19	37	56	75	94	112	131	150	169	187	225	281	374	468	562	749	936	1123
90	18	35	53	71	88	106	124	141	159	177	212	265	354	442	531	707	884	1061
95	17	34	50	67	84	101	117	134	151	168	201	251	335	419	503	670	838	1005
100	16	32	48	64	80	95	111	127	143	159	191	239	318	398	477	637	796	955
105	15	30	45	61	76	91	106	121	136	152	182	227	303	379	455	606	758	909
110	14	29	43	58	72	87	101	116	130	145	174	217	289	362	434	579	723	868
115	14	28	42	55	69	83	97	111	125	138	166	208	277	346	415	554	692	830
120	13	27	40	53	66	80	93	106	119	133	159	199	265	332	398	531	663	796
125	13	25	38	51	64	76	89	102	115	127	153	191	255	318	382	509	637	764
130	12	24	37	49	61	73	86	98	110	122	147	184	245	306	367	490	612	735
135	12	24	35	47	59	71	83	94	106	118	141	177	236	295	354	472	589	707
140	11	23	34	45	57	68	80	91	102	114	136	171	227	284	341	455	568	682
145	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110	132	165	220	274	329	439	549	659
150	11	21	32	42	53	64	74	85	95	106	127	159	212	265	318	424	531	637

Tabla 4. Velocidad de giro recomendada para herramienta de 80 mm de diámetro

La profundidad de pasada será de 4 mm para el saliente inferior del carril y 2,75 mm para los salientes superiores de la suspensión.

$$P = 4 \text{ mm}$$

El avance por diente será de 0,2 mm/Hta. y vuelta.

$$a_z = 0,2 \text{ mm/hta}$$

$$V_a = a_z \cdot n^{\text{hta}} \cdot n(\text{rpm}) = 0,2 \frac{\text{mm}}{\text{hta}} \cdot 7 \cdot 1194 \text{ rpm} = 1671 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Por tanto, la velocidad de avance con una herramienta de planeado de 7 plaquetas será de unos 1671 mm/min.

8.2.2 Fresado de forma

Por último, se mecanizará un fresado de forma como el de la Ilustración 33, donde el material consigue la geometría que le otorga la herramienta elegida. En este caso con una herramienta de acero rápido se mecanizará un “achaflanado” entre los salientes y el panel.

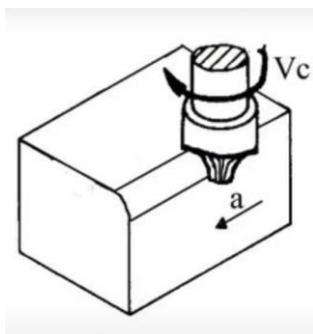


Ilustración 33. Croquis de fresado de forma

Se selecciona una velocidad de corte en la Tabla 5 para el fresado de forma de 114 m/min.

VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA (m./min.)											
Material a Mecanizar	Torneado		Fresado		Taladrado	Material a Mecanizar	Torneado		Fresado		Taladrado
	HSS	Cermet	HSS	Cermet			HSS	HSS	Cermet	HSS	
Acero	D 28	110	20	80	24	Aluminio Magnesio	D 140	350	114	300	125
400-500 N/mm ²	A 40	140	30	100		Latón ductil	A 170	400	100	350	
Acero	D 22	80	18	65	20	Aleaciones de Al	D 90	300	70	250	80
500-600 N/mm ²	A 30	90	24	70		Latón duro	A 120	350	98	300	
Acero	D 18	70	16	60	16	Cupro-aluminio	D 20	75	16	60	18
600-850 N/mm ²	A 24	80	22	70		A 24	90	22	80	18	
Acero	D 16	60	14	50	14	Cobre	D 36	130	28	100	32
850-1100 N/mm ²	A 18	70	16	60		A 46	150	40	140	32	
Acero	D 10	40	8	30	8	Grafito para Electrodo	D 10	35			9
1100-1400 N/mm ²	A 12	45	10	35		A 12	40				
Acero	D 8	30	6	25	6	Materiales Plásticos	D 30	100	24	80	26
1400-1800 N/mm ²	A 10	35	8	30		A 50	150	30	100	26	
Acero Moldeado	D 20	75	16	55	18	Bronce	D 42	150	34	125	38
380 N/mm ²	A 24	85	20	75		A 56	170	46	150	38	
Acero Moldeado	D 18	70	14	50	16	Bronce Fosforoso	D 18	70	14	60	16
450 N/mm ²	A 20	80	16	60		A 30	100	20	90	16	
Acero Moldeado	D 14	55	12	45	12	Fundición de Hierro 150 N/mm ²	D 22	80	18	70	20
520 N/mm ²	A 16	60	14	55		A 26	90	24	85	20	
Acero aleado 12% Mn	D 3	10			3	Fundición de Hierro 180 N/mm ²	D 20	70	16	60	18
	A 4	15				A 24	85	22	80	18	
Acero inoxidable	D 8	30	4	15	6	Fundición de Hierro 220 N/mm ²	D 16	60	14	55	14
	A 14	55	10	35		A 20	70	20	70	14	
Metal Monel	D 15	60	12	45	12	Fundición de Hierro 260 N/mm ²	D 12	40	10	35	11
	A 18	70	14	55		A 14	55	14	55	11	

Tabla 5. Velocidad de corte recomendada para fresado de forma

Para una herramienta de 5 mm de diámetro se aproxima la velocidad de corte a 100 m/min para ser conservadores y la velocidad de giro en la Tabla 6 es de 6366 rpm.

SELECCIÓN DE VELOCIDAD DE GIRO (r.p.m.)																		
DIAMETRO mm	Velocidad de Corte (m/min)																	
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	100	125	150	200	250	300
5	1	637	955	1273	1592	1910	2228	2546	2865	3183	3820	4775	6366	7958	9549	12732	15915	19099
10	159	318	477	637	796	955	1114	1273	1432	1592	1910	2387	3183	3979	4775	6366	7958	9549
15	106	212	318	424	531	637	743	849	955	1061	1273	1592	2122	2653	3183	4244	5305	6366
20	80	159	239	318	398	477	557	637	716	796	955	1194	1592	1989	2387	3183	3979	4775
25	64	127	191	255	318	382	446	509	573	637	764	955	1273	1592	1910	2546	3183	3820
30	53	106	159	212	265	318	371	424	477	531	637	796	1061	1326	1592	2122	2653	3183
35	45	91	136	182	227	273	318	364	409	455	546	682	909	1137	1364	1819	2274	2728
40	40	80	119	159	199	239	279	318	358	398	477	597	796	995	1194	1592	1989	2387
45	35	71	106	141	177	212	248	283	318	354	424	531	707	884	1061	1415	1768	2122
50	32	64	95	127	159	191	223	255	286	318	382	477	637	796	955	1273	1592	1910
55	29	58	87	116	145	174	203	231	260	289	347	434	579	723	868	1157	1447	1736
60	27	53	80	106	133	159	186	212	239	265	318	398	531	663	796	1061	1326	1592
65	24	49	73	98	122	147	171	196	220	245	294	367	490	612	735	979	1224	1469
70	23	45	68	91	114	136	159	182	205	227	273	341	455	568	682	909	1137	1364
75	21	42	64	85	106	127	149	170	191	212	255	318	424	531	637	849	1061	1273
80	20	40	60	80	99	119	139	159	179	199	239	298	398	497	597	796	995	1194
85	19	37	56	75	94	112	131	150	169	187	225	281	374	468	562	749	936	1123
90	18	35	53	71	88	106	124	141	159	177	212	265	354	442	531	707	884	1061
95	17	34	50	67	84	101	117	134	151	168	201	251	335	419	503	670	838	1005
100	16	32	48	64	80	95	111	127	143	159	191	239	318	398	477	637	796	955
105	15	30	45	61	76	91	106	121	136	152	182	227	303	379	455	606	758	909
110	14	29	43	58	72	87	101	116	130	145	174	217	289	362	434	579	723	868
115	14	28	42	55	69	83	97	111	125	138	166	208	277	346	415	554	692	830
120	13	27	40	53	66	80	93	106	119	133	159	199	265	332	398	531	663	796
125	13	25	38	51	64	76	89	102	115	127	153	191	255	318	382	509	637	764
130	12	24	37	49	61	73	86	98	110	122	147	184	245	306	367	490	612	735
135	12	24	35	47	59	71	83	94	106	118	141	177	236	295	354	472	589	707
140	11	23	34	45	57	68	80	91	102	114	136	171	227	284	341	455	568	682
145	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110	132	165	220	274	329	439	549	659
150	11	21	32	42	53	64	74	85	95	106	127	159	212	265	318	424	531	637

Tabla 6. Velocidad de giro seleccionada para fresado de forma

La profundidad de pasada será de 4 mm para el saliente inferior del carril y 2,75 mm para los salientes superiores de la suspensión igual que en el caso anterior

$$P = 4 \text{ mm}$$

El avance por diente será de 0,3 mm/Hta. y vuelta.

$$a_z = 0,3 \text{ mm/hta}$$

$$V_a = a_z \cdot n^{\circ} \text{hta} \cdot n(\text{rpm}) = 0,3 \frac{\text{mm}}{\text{hta}} \cdot 4 \cdot 6366 \text{ rpm} = 7639,2 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Por tanto, la velocidad de avance con una herramienta de planeado de 4 filos será de unos 1671 mm/min.

9 Bibliografía

[1] “Mingtai Aluminum (proveedor de aluminio); 6061 aluminum sheet. Consultado el 25 de febrero de 2024.”

https://www.aluminum-alloy-price.com/product/6061-aluminum-sheet/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA29auBhBxEiwAnKcSqrzhDgxUmr l1sGyVS7kBS70idxG D KkrxpUF1mJR-qvaOk-aIK47BoCCNsQAvD BwE

[2] “Granta Edupack (software de selección de materiales). Consultado el 25 de febrero de 2024.”

[3] “Fronius; ¿Qué es la Soldadura TIG?; (proveedor de productos de soldadura) Consultado el 25 de febrero de 2024.”

<https://www.fronius.com/es-es/spain/tecnologia-de-soldadura/el-mundo-de-la-soldadura/soldadura-tig>

[4] “Amazon ES; WIG ER 5356 - Varillas de soldadura (alambre de soldadura, aluminio de alta aleación, diámetro de 1,6, longitud 500 mm, 1 kg) Consultado el 25 de febrero de 2024.”

https://www.amazon.es/VECTOR-Varillas-soldadura-aluminio-suplemento/dp/B08DRLW7FZ/ref=asc_df_B08DRLW7FZ/?tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=580756305071&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=3707386140131649680&hvpone=&hvptwo=&hvmmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=1005545&hvtargid=pla-1603223431821&psc=1&mcid=9a528a17b1fc3e4f89438db6d3e7c669

[5] “Fronius; ¿Qué es la Soldadura MIG/MAG?; (proveedor de productos de soldadura) Consultado el 25 de febrero de 2024.”

<https://www.fronius.com/es-es/spain/tecnologia-de-soldadura/el-mundo-de-la-soldadura/soldadura-mig-mag#:~:text=La%20soldadura%20MIG%20FMAG%20se, suministrado%20por%20una%20fuente%20externa.>

[6] “Amazon ES; Cable de aluminio (D200/S200-2 kg), 0,8 mm de diámetro, VECTOR WELDING Consultado el 25 de febrero de 2024.”

https://www.amazon.es/dp/B0B5Y53DWQ/ref=syn_sd_onsite_desktop_0?ie=UTF8&psc=1&pf_rd_p=7667d0f1-4fc1-455f-8b79-c20b24927948&pf_rd_r=ADC5GYJB5B5G9A0YWAM4&pd_rd_wg=Ntp6K&pd_rd_w=R45HT&pd_rd_r=03be619c-f73f-407f-b952-88b6222d66ef&aref=BAzupkTXSc

[7] “OnlineMetals.com; Alloy Steel Sheet 4340 Annealed of 0,1875” thickness Consultado el 25 de febrero de 2024.”

<https://www.onlinemetals.com/en/buy/alloy-steel/0-1875-alloy-steel-sheet-4340-annealed/pid/27849>

[8] “Material Welding; “Cómo soldar EN24/AISI 4340 y EN24/4340 con A36 o acero al carbono” Consultado el 25 de febrero de 2024.”

<https://www.materialwelding.com/como-soldar-en24-aisi-4340-y-en-24-4340-con-a36-o-acero-al-carbono/>