



Universidad de Oviedo

Escuela politécnica de Ingeniería de Gijón

Máster en Ingeniería Mecatrónica



Memoria del Proyecto

Proyecto: **Sistema de mecanizado portátil para armarios eléctricos.**

Autor: **David Gómez Arias**

Tutor: **Ignacio Álvarez García**

Fecha: **24 de junio de 2018**



ÍNDICE

1. Introducción y objetivos	5
1.1. Introducción	5
1.2. Objetivos	5
1.3. Especificaciones técnicas	5
2. Estructura del proyecto	7
2.1. Memoria	7
2.2. Anexos.....	8
3. Planificación del proyecto.....	10
4. Aspectos técnicos	11
4.1. Armario eléctrico.....	11
4.1.1. Norma IEC 61439	11
4.1.1.1. Condiciones de uso.....	12
4.1.1.2. Características constructivas	13
4.1.1.3. Ensayos requeridos.....	14
4.1.2. Materiales y espesores.....	15
4.1.2.1. Armarios eléctricos de acero	15
4.1.2.2. Armarios eléctricos de aluminio.....	16
4.1.2.3. Armarios eléctricos de polímero	17
4.2. Operaciones a realizar en el armario eléctrico	18
4.2.1. Corte laser	20
4.2.2. Fresado	21
4.2.2.1. Fresado de cavidades.....	22
4.2.2.2. Mecanizado en rampa circular	23
4.2.2.3. Fresas.....	24
4.2.3. Taladrado.....	26
4.2.3.1. Brocas.....	27
4.3. Husillos	28
4.3.1. Husillos para fresado	29
4.3.2. Husillos para taladrado.....	31
5. Estado del arte	34
5.1. Diseños previos	34
5.2. Patentes	42
6. Cálculos iniciales	45
6.1. Selección de la fresa.....	45
6.2. Selección de la broca.....	45



6.3.	Selección del husillo para fresado	46
6.4.	Selección del husillo para punteado-taladrado	46
6.5.	Parámetros de corte	46
6.5.1.	Broca y husillo para punteado-taladrado	47
6.5.2.	Fresa y husillo para fresado	47
7.	Diseños iniciales	48
7.1.	Diseño inicial I	48
7.1.1.	Características del diseño inicial I	53
7.1.2.	Ventajas e inconvenientes del diseño inicial I	54
7.2.	Diseño inicial II	54
7.2.1.	Características del diseño inicial II	58
7.2.2.	Ventajas e inconvenientes del diseño inicial II	58
7.3.	Diseño inicial III	59
7.3.1.	Características del diseño inicial III	62
7.3.2.	Ventajas e inconvenientes del diseño inicial III	62
7.4.	Resultados de la VDI 2225	63
8.	Diseño definitivo	65
8.1.	Parte electrónica	65
8.1.1.	Fundamentos teóricos	66
8.1.1.1.	Motores paso a paso	66
8.1.1.2.	Control de los motores paso a paso	67
8.1.2.	Componentes electrónicos seleccionados	68
8.1.2.1.	Motores paso a paso para el desplazamiento respecto al eje x e y	68
8.1.2.2.	Motores paso a paso para el desplazamiento respecto al eje z	69
8.1.3.	Diseño del control en el prototipo	70
8.2.	Parte mecánica	72
8.2.1.	Fijación a la superficie del armario eléctrico	73
8.2.2.	Desplazamiento respecto al eje x	75
8.2.3.	Desplazamiento respecto al eje y	79
8.2.4.	Desplazamiento respecto al eje z	81
8.2.5.	Sistema de guías lineales	85
8.2.6.	Espacio de trabajo obtenido	87
8.2.7.	Prestaciones del diseño	88
8.2.8.	Resultados del cálculo de esfuerzos	89
8.2.8.1.	Análisis de la resistencia de la estructura	90
8.2.8.2.	Análisis de los esfuerzos de corte	90



8.3. Justificación del diseño realizado.....	91
9. Procesamiento de planos.....	94
9.1. Plano en formato digital	94
9.2. Sin plano en formato digital	97
10. Pliego de condiciones.....	100
11. Presupuesto	101
12. Planos.....	102
13. Realización práctica	103
14. Bibliografía	104



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

El presente Trabajo de Fin de Máster (en adelante, TFM) aborda la realización del diseño de un Sistema de Mecanizado Portátil para Armarios Eléctricos.

En gran cantidad de proyectos se emplea un armario eléctrico para albergar la alimentación, la distribución eléctrica, la automatización y el control de los dispositivos mecatrónicos que nos rodean. Durante la realización de dichos proyectos, se hace necesario destinar un recurso (durante una gran cantidad de horas) a la realización de forma manual de las operaciones de mecanizado en las distintas caras del armario eléctrico. Si a esto se le añade el tiempo destinado a la realización de los planos que se deben trasladar a las caras del armario, se puede concluir que se deben destinar una cuantía importante de recursos que no repercutirán en ningún beneficio para el proyecto o producto. Simplemente, se deben realizar a la mayor brevedad para no consistir un cuello de botella en el desarrollo del proyecto. La idea del presente TFM responde a una necesidad presente durante la realización de las operaciones de mecanizado presentes en un armario eléctrico de cualquier proyecto que requiera de uso.

Por regla general, los armarios eléctricos disponen de una tapa en la parte inferior para la entrada y salida del cableado. Dicha placa o tapa se puede retirar para mecanizarla cómodamente. Sin embargo, es necesario realizar operaciones de mecanizado en el resto de las caras para permitir la colocación de botones, setas de seguridad, displays, mandos, conectores, pasa cables, etc.

El presente proyecto propone la realización de un sistema de mecanizado automático y portátil, que situándose y fijándose manualmente en una de las caras del armario eléctrico, realice las operaciones que le sean comunicadas a partir de un dibujo CAD.

1.2. Objetivos

Como se ha comentado anteriormente, la finalidad del presente TFM es el diseño de un sistema automático portátil para el mecanizado del armario eléctrico.

1.3. Especificaciones técnicas



Para la realización del presente proyecto, se deben tener en cuenta una serie de especificaciones técnicas que el diseño debe cumplir. Dichos requerimientos son los siguientes:

- El dispositivo debe permitir operar sobre armarios eléctricos de dimensiones variables y máximas de 800 mm x 600 mm x 600 mm. Sin embargo, se debe permitir que las dimensiones de trabajo sean ampliables (aunque requiera la sustitución de partes del sistema).
- El dispositivo debe permitir mecanizar armarios eléctricos de los materiales más comúnmente utilizados como acero, aluminio y plástico de diversos espesores.
- El dispositivo debe ser portátil, es decir, debe ser susceptible de desplazarse para realizar las operaciones de mecanizado en las caras del armario eléctrico. Para ello debe colocarse y fijarse en las superficies a mecanizar.
- El sistema debe lograr un mecanizado asegurando una precisión de aproximadamente 0,5 mm. No se requiere gran precisión en las operaciones realizadas.
- El dispositivo debe incluir un software gráfico que permita realizar las operaciones de mecanizado que se incluyan en un CAD.
- Sería deseable que el diseño permita realizar todas las operaciones en el armario eléctrico sin tener que parar para realizar un cambio de herramienta. Es decir, el dispositivo de corte debe ser versátil.

2. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El presente proyecto consta de las siguientes partes:

2.1. Memoria

En ella se describe el proceso seguido hasta la consecución del dispositivo automático para el mecanizado de las caras del armario eléctrico. La memoria consta de las siguientes partes que tratan de forma general todo el proceso.

- 1) Aspectos técnicos relacionados con el proyecto: Se describirá en detalle lo que es un armario eléctrico, indicando detalles sobre la normativa, fabricantes y materiales más comúnmente utilizados. Descripción de las operaciones a realizar sobre el armario eléctrico: proceso de fresado, taladrado, viabilidad del corte laser, herramientas disponibles en el mercado, fresas, husillos, etc.
- 2) Descripción de la estructura del proyecto: Corresponde al presente capítulo.
- 3) Planificación del proyecto: Planificación del proyecto en la que se incluye el resumen sobre el anexo “Anexo I – Planificación del proyecto”.
- 4) Aspectos técnicos: Se analizarán detalles sobre las normas empleadas en armarios eléctricos, características, materiales y espesores. Se comentarán en detalle las operaciones a realizar, las herramientas utilizadas y los husillos empleados.
- 5) Estado del arte y diseños previos: Se analizarán las patentes publicadas sobre diseños similares hasta la fecha y los productos disponibles en el mercado. En definitiva, todas aquellas ideas que ayuden a obtener un diseño adecuado.
- 6) Cálculos iniciales: Se muestran los resultados obtenidos en el anexo “Anexo II – Cálculos Iniciales”.
- 7) Diseños iniciales: A partir del estado del arte y de los diseños previos, es decir, a partir de toda la búsqueda de información llevada a cabo inicialmente, se realizarán una serie de diseños iniciales susceptibles de ser escogidos como el diseño definitivo del dispositivo automático. Así mismo, también se realizará una valoración en la que se muestran los resultados obtenidos en el anexo “Anexo III – VDI 2225”. Cada diseño será descrito haciendo hincapié en sus ventajas e

inconvenientes. Las características más ventajosas de cada diseño inicial serán los aspectos relevantes a tener en cuenta en el desarrollo del diseño definitivo.

- 8) Diseño definitivo: A lo largo de este apartado se describirá la parte electrónica y parte mecánica del diseño definitivo del sistema de mecanizado portátil para armarios eléctricos. En primer lugar y respecto a la parte electrónica, se describirá en detalle la fundamentación teórica de los motores paso a paso y del control de dichos motores. A continuación, se explicará y justificará la selección de los componentes electrónicos. Por último y respecto a la parte mecánica del diseño, se explicará en detalle todo lo relacionado con la fijación a la superficie a mecanizar, el desplazamiento respecto a los distintos ejes, el sistema de guías empleado, las prestaciones del diseño obtenido (rendimiento y espacio de trabajo) y el resultado del cálculo de esfuerzos detallado en el anexo: “Anexo IV – Cálculo de esfuerzos”.
- 9) Procesamiento de planos: Se explicará en detalle cómo se procesarán los datos sobre las operaciones a realizar presentes en un plano y como se traducirán en operaciones (o comandos) a ejecutar por parte del sistema de mecanizado portátil para armarios eléctricos. Además, también se abordarán los casos en los que no se dispone de un plano en formato digital y es necesario dictar las operaciones sobre la marcha, empleando un software que ayude a definir las operaciones de una forma sencilla.
- 10) Presupuesto: Se muestran los resultados obtenidos en el anexo “Anexo VI – Presupuesto”.

2.2. Anexos

El presente proyecto consta de los siguientes anexos:

- 11) Anexo I – Planificación del proyecto: Se describe en detalle la planificación temporal de todas las tareas del proyecto. Se incluye el reparto de recursos y el diagrama de Gantt.
- 12) Anexo II – Cálculos Iniciales: Se aportan información en detalle sobre las herramientas seleccionadas (fresas, husillos). Se realiza la selección de las



herramientas y husillos. Finalmente, se realizan cálculos básicos sobre las operaciones a realizar en el armario eléctrico.

- 13) Anexo III – VDI 2225: A partir de los diseños iniciales expuestos, se llevará a cabo una valoración para concluir cual será seleccionado para su diseño y desarrollo en el presente proyecto. Dicha ponderación se realizará empleando un procedimiento indicado por la norma VDI 2225.
- 14) Anexo IV – Cálculo de esfuerzos: En este documento se analizará en detalle la resistencia de la estructura diseñada con los materiales seleccionados. Además, también se analizarán en detalle las consecuencias sobre los distintos materiales de los esfuerzos de corte en las operaciones de taladrado.
- 15) Anexo V – Código G: En este documento se mostrará el código G obtenido en el capítulo dedicado al procesamiento de planos.
- 16) Anexo VI - Pliego de condiciones: A lo largo de este documento se describirán las condiciones de uso y de funcionamiento del sistema de mecanizado portátil para armarios eléctricos descrito en la presente memoria.
- 17) Anexo VII – Presupuesto: A lo largo de este documento se describirán los costes de la realización de un prototipo con las características del diseño definitivo del sistema de mecanizado portátil para armarios eléctricos.
- 18) Anexo VIII – Planos: Se incluyen los planos de fabricación y montaje del prototipo objetivo del presente proyecto.



3. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

En el anexo: “Anexo I – Planificación del Proyecto”, se puede observar en detalle el diagrama de Gantt del proyecto.

4. ASPECTOS TÉCNICOS

A lo largo de este capítulo se describirán una serie de detalles técnicos y teóricos que ayudarán a mejorar la comprensión del presente proyecto. Además, se aportará información e indicaciones de los fabricantes que ayudarán a optimizar notablemente el diseño obtenido.

4.1. Armario eléctrico

Un cuadro o armario eléctrico es una combinación de varios elementos de protección y maniobra, agrupados en una o más columnas. En el armario eléctrico es posible distinguir entre distintas partes:

- La caja o también denominada “envolvente” según la norma y que sirve de soporte y protege a los componentes que alberga. Más adelante, en este capítulo se describirán los distintos grados de protección presentes en los cuadros eléctricos.
- El equipamiento eléctrico, formado por los dispositivos, conexiones, terminales de entrada y salida para la conexión a la instalación.

En lo referido a normativa, todos los cuadros de distribución y control cuya tensión no supera los 1000 V en corriente alterna o 1500 V en corriente continua están suscritos a la norma IEC 61439.

4.1.1. Norma IEC 61439

La norma IEC 61439 está formada por varias partes:

- IEC 61439-1 establece normas generales para los cuadros de baja tensión.
- IEC 61439-2 “Cuadros de distribución de potencia y maniobra (cuadros PSC)”.
- IEC 61439-3 “Cuadros de distribución”.
- IEC 61439-4 “Cuadros para obras”.
- IEC 61439-5 “Cuadros para distribución de potencia”.
- IEC 61439-6 “Sistemas de canalización para embarrado”.



Para el desarrollo del presente proyecto, la parte básica de la norma en la que se debe hacer hincapié, es por tanto la IEC 61439-1. Dicha norma garantiza el nivel mínimo de seguridad para bienes y personas. Además, establece las normas a cumplir por los aparatos de baja tensión:

- Las condiciones de uso.
- Las características constructivas.
- Los ensayos requeridos.

4.1.1.1. Condiciones de uso

Se aplica a conjuntos de baja tensión cuya tensión asignada no supere 1000 V en corriente alterna a frecuencias no superiores a 1000 Hz, o 1500 V en corriente continua.

Se aplica a conjuntos que incluyen materiales de mando y/o de potencia donde las frecuencias son más elevadas. En este caso, se deberán aplicar los requisitos suplementarios apropiados incluidos en la norma

Se aplica a conjuntos fijos o desplazables, con o sin envolvente (caja).

Se aplica a conjuntos destinados a ser utilizados con equipos diseñados para la generación, la transmisión, la distribución y la conversión de la energía eléctrica, y para el control de los materiales que consumen energía eléctrica.

Se debe establecer una diferenciación entre el fabricante “original” y el fabricante “final”:

- Reconocer la práctica habitual del “cuadrista” o constructor del cuadro eléctrico existente en muchos mercados.
- Los montadores finales de los conjuntos y los instaladores deben utilizar las normas correspondientes como, por ejemplo, la norma aquí descrita.
- Elevar el nivel de seguridad y calidad de los conjuntos eléctricos nuevos y renovar los conjuntos ya existentes en producción.
- Evitar que se instalen conjuntos no conformes a la reglamentación vigente, incumpliendo la normativa descrita.

- Eliminar la competencia desleal de los fabricantes que no respetan la normativa o reglamentación vigente.

Se establecen una serie de características constructivas que determinaran las condiciones de uso.

Se recogen una serie de ensayos con unos requisitos muy bien definidos que simulan las condiciones de uso de los conjuntos.

4.1.1.2. Características constructivas

Se debe respetar una estructura establecida que facilita verdaderamente el diseño y conformación del armario eléctrico. La estructura se divide en una serie de unidades:

- Unidades de llegada.
- Unidades de distribución.
- Unidades de salida.
- Unidades de repartición.
- Unidades de conexionado.
- Unidades de comunicación.

En la siguiente imagen (fig. 4.1), se observa la distribución del armario o cuadro eléctrico en distintas unidades.



Figura 4.1- División del armario eléctrico en distintas unidades.

Otra característica constructiva es el empleo de las compartimentaciones o separaciones dentro de las unidades. De esta forma se garantiza la protección de unos componentes respecto al fallo de otros y también la siempre muy presente protección de bienes y personas.

4.1.1.3. Ensayos requeridos

Los ensayos realizados según la norma IEC 61439-1 ayudan a garantizar y verificar las características del armario eléctrico. En este apartado se describirán aquellos que se consideran más importantes para el desarrollo del presente proyecto.

- Límites de calentamiento: Prueba que garantiza la seguridad y la vida útil evitando daños de los contactos de potencia. Evita el envejecimiento prematuro de los materiales aislantes utilizados, protege a los operarios de quemaduras ocasionadas por el equipo, disminuye el deterioro de los componentes electrónicos y evita las deformaciones por dilatación. La norma recoge una serie de condiciones y requisitos para la realización del ensayo como, por ejemplo:
 - La temperatura ambiente debe estar entre 10°C y 40°C.
 - Se establecen unas temperaturas determinadas para los bornes de conexionado, aparatos de mando, etc.
- Funcionamiento mecánico, Grado IK: Prueba que garantiza la vida útil de los diferentes mecanismos presentes en el armario eléctrico. El ensayo de funcionamiento mecánico se realiza con el conjunto montado. La norma indica que se realicen un mínimo de 200 ciclos de maniobras durante las pruebas. El grado IK indica el nivel de protección que proporciona la envolvente (o caja) del equipo frente a daños provocados por impactos mecánicos. En el código IK (por ejemplo, IK 08) cada grupo numérico característico representa un valor de energía de impacto.
- Grado de protección IP: Es el ensayo más importante para el desarrollo del dispositivo automático objetivo del presente proyecto. En función del grado de protección buscado, se debe recurrir a espesores de las paredes mayores (siempre teniendo en cuenta las limitaciones propias del material del armario eléctrico). El ensayo ayuda a proteger a las personas del acceso a las partes peligrosas, protege

a los aparatos eléctricos contra la penetración de cuerpos sólidos y de líquidos. Adicionalmente, se mejora la protección del armario eléctrico contra golpes. En el código del grado de protección IP (por ejemplo, IP31xx) se recogen las siguientes cifras:

- La primera cifra del código IP indica la protección frente a la entrada de cuerpos sólidos extraños.
- La segunda cifra del código IP indica la protección frente a la entrada de agua.
- Las letras adicionales y/o suplementarias indican el grado de protección para las personas contra el acceso a partes peligrosas o el indicativo de una protección superior.

4.1.2. Materiales y espesores

El sistema automático objetivo del presente proyecto será empleado para mecanizar las paredes del armario eléctrico. Se ha realizado una búsqueda entre los fabricantes de armarios eléctricos para determinar los materiales más comúnmente utilizados y el abanico de espesores que se encuentra en el mercado asociado a cada material utilizado. A partir de esta búsqueda, se conocerá con certeza cuáles serán generalmente los materiales y espesores a mecanizar. A continuación, se expone el resultado de la búsqueda.

4.1.2.1. Armarios eléctricos de acero

Se caracterizan por la robustez frente al resto de materiales. Son los más versátiles y con la mayor variedad de tamaños ya que su uso está muy extendido. El grado de protección IP es menor que en otros materiales. Sin embargo, el grado IK de protección mecánica es el más alto. El acero utilizado en estos armarios eléctricos suele ser chapa de acero, chapa de acero galvanizado o chapa de acero inoxidable. A continuación, se describe el material y espesor empleado por distintos fabricantes:

- Eldon: En la gama se encuentran armarios de chapa de acero (no se especifica cual) de máximo 2 mm de espesor. Chapa de acero galvanizado (no se especifica cual) de máximo 3 mm de espesor. Chapa de acero inoxidable pulido AISI 304 /

AISI 316L de máximo 2 mm de espesor. Chapa de acero cincado (no se especifica cual) de máximo 2 mm de espesor.

- Ide: En la gama se encuentran armarios de chapa de acero inoxidable AISI 304L - AISI 316L con acabado satinado scotch 320 de máximo 1,5 mm de espesor. Chapa de acero laminado en frío EN10130 DC04 de máximo 1,2 mm de espesor.
- Proveedores adicionales: Chapa de acero inoxidable (no especifica cual) de máximo 1,2 mm de espesor. Chapa de acero galvanizado (no especifica cual) de 2 mm de espesor. Chapa de acero (no especifica cual) de 1,75 mm de espesor.

Tras la búsqueda realizada, se puede concluir que los espesores “máximos” a mecanizar para armarios eléctricos de acero son:

- Chapa de acero de máximo 2 mm de espesor: No se ha indicado una denominación del acero, por tanto, se asumirán las propiedades mecánicas del más comúnmente utilizado.
- Chapa de acero galvanizado de máximo 3 mm de espesor. No se ha indicado una denominación, por tanto, se asumirán las propiedades mecánicas del más comúnmente utilizado.
- Chapa de acero cincado de máximo 2 mm de espesor. No se ha indicado una denominación del acero, por tanto, se asumirán las propiedades mecánicas del más comúnmente utilizado.
- Chapa de acero inoxidable AISI 304L - AISI 316L de máximo 2 mm de espesor.
- Chapa de acero laminado en frío EN10130 DC04 de máximo 1,2 mm de espesor.

4.1.2.2. Armarios eléctricos de aluminio

Se caracterizan por la ligereza frente a los armarios eléctricos de acero. No son tan robustos como los anteriores, sin embargo, son los más equilibrados en cuanto a grado de protección IP y grado IK de protección mecánica. Su uso es el menos extendido, sobre todo si se compara con el anterior tipo debido a los problemas ya conocidos derivados del uso del aluminio. En estos armarios se suele utilizar chapa de aluminio. A continuación, se describe el material y el espesor empleado por distintos fabricantes:



- Eldon: En la gama se encuentran armarios de chapa de aluminio AlMg3 de máximo 2mm.
- Schroff: En la gama se encuentran armarios de chapa de aluminio AlMg2,5 de máximo 1,5 mm.

Tras la búsqueda realizada, se puede concluir que el espesor “máximo” a mecanizar para armarios eléctricos de aluminio es de 2 mm para el material aluminio AlMg3.

4.1.2.3. Armarios eléctricos de polímero

Se caracterizan por ser los más ligeros disponibles en el mercado. El grado de protección IP es el más elevado debido a las condiciones aislantes propias de la naturaleza del material. Sin embargo, el grado IK de protección mecánica es el menor respecto a los anteriores. Se utilizan armarios eléctricos de polímero cuando el ambiente de trabajo no es muy nocivo en cuanto a daño físico. Su uso es muy extendido debido al bajo coste y a la gran facilidad para configurarlo de múltiples formas. Se utilizan generalmente chapas de poliéster y en algunos casos incluyendo refuerzos de otros materiales. A continuación, se describe el material y el espesor empleado por distintos fabricantes:

- Hager: En la gama se encuentran armarios de chapa de poliéster reforzado con fibra de vidrio y chapa de acero de 10 a 12 mm de espesor.
- Ide: En la gama se encuentran armarios de chapa de poliéster reforzado con fibra de vidrio de 10 mm de espesor.
- Tricel: En la gama se encuentran armarios de chapa y poliéster reforzado con fibra de vidrio. A partir de los planos se ha podido deducir que el espesor a mecanizar es de 8 mm de espesor.

Tras la búsqueda realizada, se puede concluir que el espesor “máximo” a mecanizar para armarios eléctricos de polímero es de 12 mm de espesor para aquellos reforzados con fibra de vidrio y chapa de acero. Como se observará en próximos capítulos, debido a la complejidad de este material reforzado con fibra de vidrio y acero, y a la escasez de datos aportados por el fabricante, se tratará de aproximar las propiedades mecánicas empleando coeficientes de mayoración.

4.2. Operaciones a realizar en el armario eléctrico

En la siguiente imagen (fig. 4.2), se observa un armario eléctrico cuando se le han practicado las operaciones de mecanizado necesarias para colocar botones, displays, setas de emergencia, etc.



Figura 4.2- Botones, displays, selectores y seta de emergencia en la puerta del armario eléctrico.

En la imagen anterior (fig. 4.2), se observa cómo las operaciones principales a realizar sobre la puerta del armario eléctrico son pequeños cajeados (en los que se traspasa o no la superficie del material) y agujeros de mayor o menor tamaño. Como se puede observar en la siguiente imagen (fig. 4.3), las operaciones de mecanizado necesarias para los “pasa-cables”, son también agujeros de mayor o menor tamaño.



Figura 4.3- Placa pasa-cables del armario eléctrico.

Como se puede observar en la anterior imagen (fig. 4.3), los pasa-cables se mecanizan sobre la tapa extraíble del armario eléctrico o sobre una cara del mismo. A partir de las funcionalidades obtenidas con el dispositivo automático objetivo del presente proyecto, no sería necesario retirar la placa extraíble de la imagen.

En la siguiente imagen (fig. 4.4), se muestra una parte del plano que detalla las operaciones a realizar sobre la tapa extraíble del armario eléctrico. El plano mostrado se corresponde con el que fue necesario realizar para enviar a mecanizar la tapa extraíble en otro proyecto realizado en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Computadores y Sistemas.

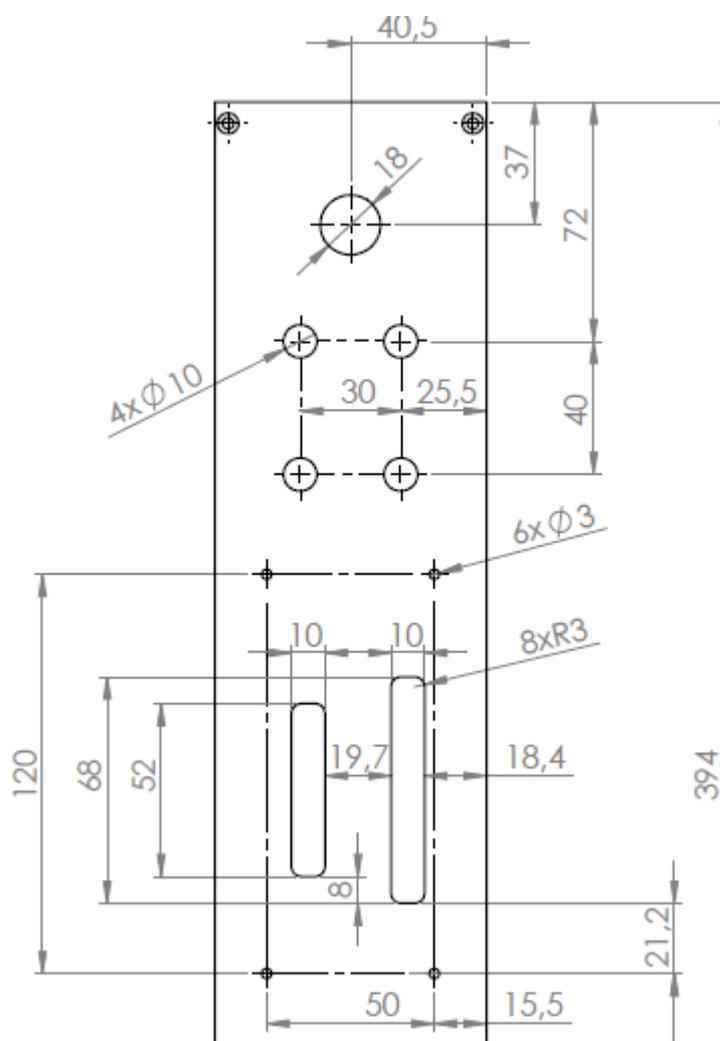


Figura 4.4- Plano de fabricación de una placa pasa-cables del armario eléctrico.

En la imagen anterior (fig. 4.4), se observa que uno de los detalles a tener en cuenta en la selección de la herramienta o herramientas, será el diámetro seleccionado. Como se

puede observar, existen diámetros de 3 mm que la herramienta debe satisfacer. Es por ello, que sería deseable un diámetro de 2 - 3 mm para poder realizar cualquier operación.

A partir de la información mostrada anteriormente, se puede concluir que las operaciones principales a realizar en el armario eléctrico son cajeados y taladrados. Adicionalmente, sería deseable poder grabar un código en la superficie del material, para ello se realizaría una operación similar a un cajeadado donde no se atravesaría la superficie del material.

A continuación, se describen aquellos procesos de fabricación que permiten realizar las operaciones que se han comentado anteriormente. También se citarán ventajas y desventajas de estos, llegando incluso a compararlos entre sí.

4.2.1. Corte laser

A lo largo del presente capítulo, se han detallado las operaciones a llevar a cabo en las distintas caras o superficies del armario eléctrico. Ya que se trata de operaciones de corte de superficie, se hace necesario comentar la definición, características, ventajas e inconvenientes del corte laser.

Antes de comenzar con la descripción del proceso de mecanizado del que trata el presente apartado, se debe tener en cuenta que inicialmente se han descartado otros tipos de procesos de corte debido principalmente a las siguientes razones:

- Oxicorte: Este proceso de fabricación está limitado a los aceros de baja aleación. Por tanto, para trabajar el aluminio y el polímero presente en los armarios eléctricos descritos anteriormente, no es un tipo aconsejable.
- Corte por plasma: Este proceso de fabricación se mostrará en un diseño inicial de los obtenidos en la búsqueda de información. El inconveniente reside en que está concebido para el corte de materiales que conducen la electricidad. Sin embargo, el polímero no se caracteriza por ser un buen conductor.
- Corte por agua: Este proceso permite cortar cualquier material con un amplio rango de espesores. Sin embargo, la necesidad de todo el equipo asociado: un motor, una bomba, un acumulador para el abrasivo, etc. convierten a la solución

en no apta para un dispositivo portátil como el que es objetivo del presente proyecto.

El corte laser es un proceso de fabricación en el que el corte del material se produce por vaporación de la superficie. El dispositivo laser está formado por una fuente de energía en contacto con un material activo. Esta combinación produce una luz láser que, tras pasar por un conjunto de espejos, se focaliza a través del cabezal de corte. Existe una variante en la que se emplea dióxido de carbono como gas de corte.

La principal ventaja del corte laser reside en la gran variedad de materiales a cortar y la gran precisión lograda. Sin embargo, la precisión no es uno de los requisitos principales del presente proyecto. Si se compara este proceso con el fresado (o taladrado) descrito anteriormente, se podrían extraer una serie de desventajas que permiten descartar esta tecnología:

- Uno de los requerimientos del presente proyecto es el grabado de un código en la superficie en la superficie del armario. Existen pequeños equipos de corte laser para realizar estos grabados en varios materiales. Sin embargo, el equipo necesario para cortar los espesores citados tiene unas dimensiones no aptas para ser un equipo portátil.
- La seguridad necesaria para este proceso de corte de chapa es mucho mayor que la que se debe asegurar en el fresado o taladrado.

4.2.2. Fresado

El fresado es un proceso de conformado por arranque de viruta. El mecanizado por arranque de material es un proceso en el que se modifica la superficie de la pieza al retirar material de la misma. La definición del proceso de fabricación es la siguiente:

“Proceso de arranque de viruta destinado a la fabricación de formas geométricas de tipo prismático, en la que suele haber varias caras planas formando ángulos entre sí. La herramienta, de múltiples filos, que alternativamente entran y salen del material produciéndose un corte interrumpido. Se genera una viruta por cada filo y revolución”.

El proceso tiene las siguientes características:

- Se aplica a materiales como metales, plásticos, cerámicas, etc.

- El espesor de la viruta varía con el tiempo.
- El corte en el fresado es intermitente.
- Es un corte en oposición o convencional, porque la velocidad de avance se opone a la de corte.

4.2.2.1. Fresado de cavidades

La operación a realizar a partir del fresado para obtener el cajeado, es la conocida como: “*Fresado de cavidades*”. En la siguiente imagen (fig. 4.5), se observa el esquema de las distintas fases de la operación.

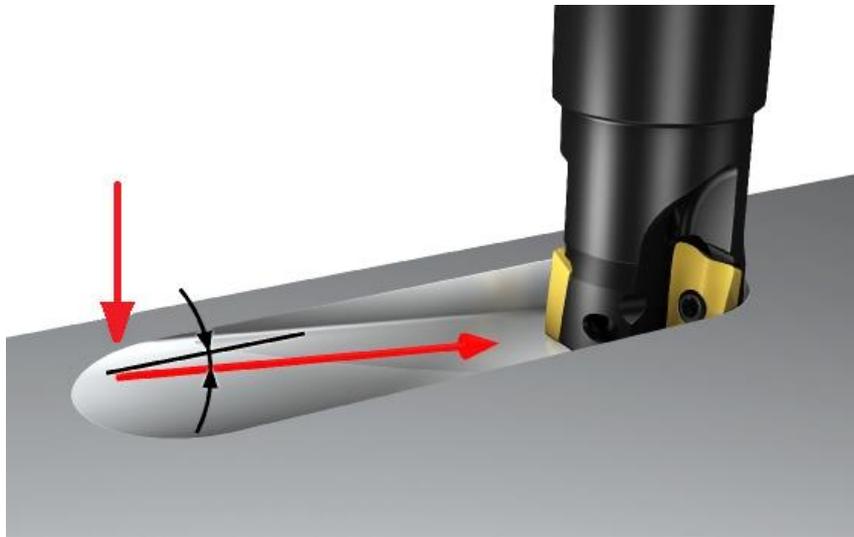


Figura 4.5- Fases en el fresado de una cavidad.

En la imagen anterior (fig. 4.5), se observan las dos fases de la operación. En primer lugar, se produce la apertura del agujero o cavidad. La segunda fase que se observa en la imagen anterior (fig. 4.5), corresponde a la de ampliación de la cavidad en la que se utiliza un avance en rampa (en ocasiones intermitente). En algunos materiales, la rotura de la viruta durante la apertura puede suponer una dificultad añadida ya que la viruta carece de flexibilidad para crear distintos diámetros o formas que no sean redondas.

En la siguiente imagen (fig. 4.6), se observa un método de fresado utilizado para evitar el problema comentado durante la apertura y ampliación de agujeros y cajeados. Dicho método se denomina mecanizado en rampa circular.

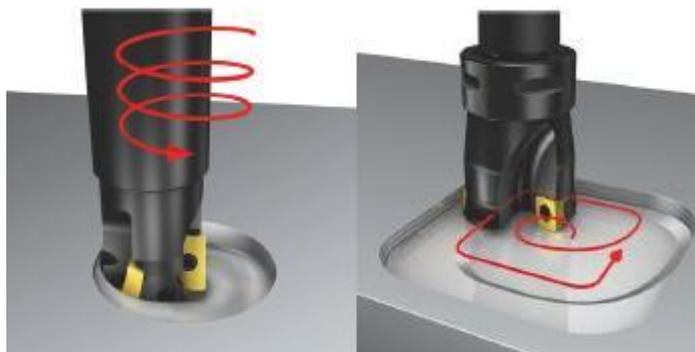


Figura 4.6- Las imágenes representan mecanizados en rampa circular.

En la imagen anterior (fig. 4.6), se observa a la izquierda el mecanizado en rampa de un agujero de gran tamaño. En la derecha, se observa el mecanizado en rampa de una cavidad o cajeadado. El mecanizado en rampa es menos óptimo o productivo que el taladrado, pero debido a lo comentado anteriormente, debe aplicarse en los siguientes casos:

- Agujeros de gran diámetro cuando la potencia de la máquina es limitada.
- Diámetros superiores a 25 mm, o cuando no se dispone de brocas del tamaño adecuado.
- Materiales difíciles de taladrar, debido a problemas de rotura y evacuación de la viruta o ausencia de refrigerante.
- Cajeados o cavidades donde no se practica un agujero redondo.

Otra característica del método anterior es la posibilidad de efectuar el cajeadado o el agujero sin necesidad de realizar una operación de taladrado previa con una broca para dicho fin. La operación de taladrado previa se realiza directamente con la misma fresa.

4.2.2.2. Mecanizado en rampa circular

El mecanizado en rampa circular (o interpolación helicoidal) es una alternativa al taladrado. El avance de la herramienta es simultáneo con un movimiento circular en x e y. De esta forma se obtiene un proceso mucho más uniforme dónde se obtiene corte hacia abajo puro y se mejora la evacuación de la viruta. La rotación de la herramienta en el sentido contrario de las agujas del reloj garantiza el fresado hacia abajo.

Existen tres detalles clave a la hora de realizar el mecanizado en rampa circular:

- Selección del diámetro de fresa según el tamaño del agujero: La selección del diámetro de la fresa ayuda a que no se dejen remanentes de material en la zona central de la pieza.
- Paso por vuelta: El paso por vuelta nunca puede ser mayor que el máximo admitido por la herramienta.
- Velocidad de avance: La velocidad de avance debe ser calculada con la teoría correspondiente para evitar un valor mayor que el admitido por la herramienta.

4.2.2.3. Fresas

En el presente apartado se describirá la búsqueda realizada de fabricantes cuyas herramientas o fresas permiten el mecanizado de los materiales descritos anteriormente en los espesores pertinentes. A continuación, se describen las herramientas encontradas clasificadas según fabricante:

- Sandvik: En la gama destacan CoroMill® Plura y CoroMill® 316. Ambas herramientas son altamente recomendadas para el fresado de cavidades y el mecanizado en rampa. Ambos son aptos para acero, acero inoxidable, aluminio y materiales no féreos. Haciendo referencia a la tipología CoroMill® Plura destacan las de geometría frontal en “S”, “N” o “P”. En la siguiente imagen (fig. 4.7), se observan algunos ejemplos de dicha tipología.



Figura 4.7- Ejemplos de herramientas de la tipología CoroMill® Plura.

Los ejemplos de la imagen anterior (fig. 4.7), destacan por la versatilidad de las herramientas. Presentan un buen rendimiento para la mayor parte de las operaciones y materiales. Adicionalmente, cabe destacar que el paso diferencial reduce las vibraciones.

Haciendo referencia a la tipología CoroMill® 316 destacan las de geometría frontal “S” o “P”. En la siguiente imagen (fig. 4.8), se observan algunos ejemplos de dicha tipología.



Figura 4.8- Ejemplos de herramientas de la tipología CoroMill® 316.

Los ejemplos de la imagen anterior (fig. 4.8), destacan por la versatilidad de las herramientas. Primera elección para operaciones de fresado general en cualquier material.

- Virma: En la gama destacan las fresas de cuatro o cinco labios DUTCH. En la siguiente imagen (fig. 4.9), se observa un ejemplo del aspecto de esta herramienta.



Figura 4.9- Fresa de cuatro labios DUTCH.

La herramienta mostrada en la imagen anterior (fig. 4.9), se caracteriza por ser adecuada para todo tipo de materiales hasta unas propiedades mecánicas determinadas. Permite la obtención de un buen acabado y elimina las vibraciones que se producen durante el mecanizado.

- WNT: En la gama destacan las fresas toroidales de la serie MonsterMill. Esta herramienta de fresado de alto rendimiento permite trabajar el acero (incluyendo el acero inoxidable y templado), aleaciones resistentes al calor, aluminio y plástico. En la siguiente imagen (fig. 4.10), se observa el aspecto de la herramienta en cuestión.



Figura 4.10- Fresa toroidal de la serie MonsterMill.

El fabricante brinda un repertorio de videos comparativos de la capacidad de mecanizado de la herramienta respecto a otras del mercado. Es aquí donde se observa la versatilidad de la herramienta para la realización de distintas operaciones en gran variedad de materiales.

Las herramientas que se han mostrado anteriormente se han seleccionado buscando que sean viables para operaciones de fresado y de taladrado. En el próximo apartado se describirá en detalle en que consiste el proceso de mecanizado llamado taladrado puesto que corresponde a la primera perforación que se realiza en el proceso de fresado y también es la operación utilizada para realizar un agujero pasante en la superficie del armario eléctrico.

4.2.3. Taladrado

Como se ha comentado anteriormente, se deberán hacer cajas en las superficies del armario eléctrico. Para realizar dicha operación, se debe acometer en primer lugar una operación de taladrado (corresponde a la primera penetración presente en el mecanizado en rampa circular). Además, en los agujeros proyectados con el mismo diámetro que el de la fresa, también se empleará este proceso de fabricación. El proceso de taladrado será tratado a lo largo del presente apartado.

El taladrado es un proceso de arranque de viruta destinado a la fabricación de formas geométricas huecas de revolución. Las virutas generadas se mueven en la dirección opuesta del avance. Por lo tanto, la disposición de las virutas y la eficacia de los fluidos de corte pueden ocasionar serias dificultades en el taladrado.

La operación se compone de tres fases:

- Preparación: La fase de preparación o punteado es la operación previa al taladrado y ayuda al posicionado de la broca o fresa. Como se puede observar en el siguiente apartado, no será necesario realizar un punteado debido a las características de las fresas o brocas seleccionadas.



- Taladrado: La operación de taladrado busca obtener un agujero pasante a través de la chapa en este caso. Se debe procurar que la potencia consumida no supere la disponible.
- Retaladrado: Se emplea cuando la potencia de la máquina no es suficiente para realizar la operación en una sola vez o cuando se busca obtener un determinado acabado. Esta fase no será necesaria en el presente proyecto ya que la máquina (o motor) seleccionada proporcionará una potencia suficiente. Además, como se recoge en los requisitos del presente proyecto, no será necesario un gran acabado.

Por último, se debe tener en cuenta las causas de problemas en las operaciones de taladrado:

- Ruptura de la broca o fresa: Se produce cuando la broca está desafilada, la broca se atasca debido a la mala evacuación de la viruta. Se puede producir cuando el avance es muy grande.
- Desgaste excesivo de la broca o fresa: Se produce cuando la velocidad de corte es demasiado elevada. También se puede producir cuando el fluido de corte o refrigerante es ineficaz. A medida que con el uso se afila la herramienta, se disminuye la resistencia de ésta.

4.2.3.1. Brocas

Uno de los requerimientos del presente proyecto es la realización de las operaciones sobre el armario eléctrico de forma automática sin paradas para realizar un cambio de herramienta, es decir, sin que se deba intervenir el diseño para realizar un cambio de fresa o broca. Sin embargo, debido a lo comentado anteriormente, se hace necesario realizar un punteado o un taladrado previo al que consiga la forma final del agujero o cajeado. Para este punteado o taladrado de pequeño diámetro que ayudará a posicionar la fresa para la operación posterior. Una solución muy recomendada, es aquella en la que se incorpora un pequeño husillo para el taladrado con una broca que será seleccionada de las que se exponen a continuación. Se han seleccionado las brocas que se exponen clasificadas según el fabricante:

- Sandvik: En la gama destacan el modelo CoroDrill® R840. Es una broca entera de metal duro para mecanizar agujeros en multitud de aplicaciones. Diseñada

para un taladrado de alto rendimiento en todo tipo de materiales, aceros de gran dureza incluidos. En la siguiente imagen (fig. 4.11), se observa un ejemplo de esta herramienta.



Figura 4.11- Broca de la serie CoroDrill® R840.

Al igual que ocurría con las fresas de este fabricante. Un detalle a tener en cuenta es la gran cantidad de información que se aporta sobre las operaciones a realizar.

- WNT: En la gama destacan las brocas del modelo WNT VX 3xD Mastertool Performance. Tras analizar el catálogo del fabricante se puede observar que son herramientas aptas para realizar una gran cantidad de operaciones en una gran diversidad de materiales. En la siguiente imagen (fig. 4.12), se muestra la herramienta en cuestión.



Figura 4.12- Broca de la serie WNT Mastertool Performance.

4.3. Husillos

Como se comentado anteriormente, tras desechar la opción del corte laser, se realizarán operaciones de punteado, taladrado, re-taladrado y fresado en la superficie del material. Para ello, se ha realizado una selección de husillos aptos para dichas operaciones. Se ha buscado equipos de pequeñas dimensiones, de bajo coste y que aporten información técnica disponible para permitir realizar unos cálculos iniciales y analizar su viabilidad. Uno de los aspectos más importantes para la selección del husillo, será la relación entre la

potencia del equipo y el peso del mismo. A continuación, se muestran los resultados de la búsqueda realizada:

4.3.1. Husillos para fresado

- Kress: En la gama destaca el 1050 FME-1. Se caracteriza por una potencia nominal de 1050 Vatios y una velocidad máxima de 25000 rpm en vacío. En la siguiente imagen (fig. 4.13), se observa dicho modelo.



Figura 4.13- Modelo 1050 FME-1 del fabricante Kress.

El modelo que se observa en la imagen anterior (fig. 4.13), tiene un peso de aproximadamente 1,7 kg. Este husillo, concebido inicialmente para operaciones de fresado en madera o plástico, se emplea también en aplicaciones en acero y aluminio. La pinza de fijación soporta fresas de 8 mm de diámetro.

- Makita: En la gama destaca el modelo RT0700C. Se caracteriza por una potencia de 710 Vatios y una velocidad máxima de 30000 rpm en vacío. En la siguiente imagen (fig. 4.14), se observa dicho modelo.



Figura 4.14- Modelo RT0700C del fabricante Makita.

El modelo que se observa en la imagen anterior (fig. 4.14), tiene un peso de aproximadamente 1,8 kg. Se ha leído en foros especializados y se han visto videos del uso de este modelo en multitud de aplicaciones para diversos materiales. La pinza de fijación soporta fresas de 6 a 8 mm de diámetro.

- DeWALT: En la gama destaca el modelo D26200. Se caracteriza por una potencia de 900 Vatios y una velocidad máxima de 27000 rpm en vacío. En la siguiente imagen (fig. 4.15), se observa dicho modelo.



Figura 4.15- Modelo D26200 del fabricante DeWALT.

En la imagen anterior (fig. 4.15), se observa la apariencia del modelo. El peso aproximado del equipo es de 1,9 kg. Es el principal rival del modelo anterior y si se observan revisiones de ambos productos, dependiendo de la aplicación, uno destaca levemente sobre el otro. Sin embargo, ambos son productos de alto nivel. La pinza soporta fresas de 6 y 8 mm de diámetro.

- Bosch: Resulta necesario citar a este fabricante debido a que es un conocido proveedor de todo tipo de herramientas eléctricas. En la gama destaca el GKF 600. Se caracteriza por una potencia de 600 Vatios y una velocidad máxima de trabajo de 33000 rpm en vacío. En la siguiente imagen (fig. 4.16), se observa el aspecto del modelo.



Figura 4.16- Modelo GKF 600 del fabricante Bosch.

El modelo de la imagen anterior (fig. 4.16), tiene un peso de aproximadamente 1,5 kg. Debido a las características descritas inicialmente, se trata del modelo menos potente de los mostrados. Sin embargo, la velocidad de trabajo es notablemente la más alta. El portaherramientas soporta fresas de 6 y 8 mm de diámetro.

En todos los modelos anteriormente comentados, existen casquillos adaptadores para permitir la colocación de brocas de entre 2 y 6 mm de diámetro de anclaje.

4.3.2. Husillos para taladrado

- Kress: En la gama destaca el 530 FM. Se caracteriza por una potencia nominal de 530 Vatios y una velocidad máxima de 25000 rpm en vacío. En la siguiente imagen (fig. 4.17), se observa dicho modelo.



Figura 4.17- Modelo 530 FM del fabricante Kress.

El husillo de la imagen anterior (fig. 4.17), tiene un peso de aproximadamente 1,3 kg. Se trata de un modelo compacto y su portaherramientas soporta brocas de

8 mm de diámetro. Sin embargo, existen casquillos adaptadores para permitir la colocación de brocas de entre 2 y 6 mm de diámetro de anclaje.

- Icroato: El fabricante ofrece un husillo de 400 W. El modelo se conoce como LD52GF-400W. La velocidad máxima que se alcanza en vacío es de 12000 rpm con un peso de 1 kg. En la siguiente imagen (fig. 4.18), se observa el modelo.



Figura 4.18- Modelo LD52GB del fabricante Icroato.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 4.18), el diseño es muy simple (sin apenas detalles atractivos) y está concebido para una aplicación casera o para un prototipo. Cabe destacar el precio del husillo, muy inferior al del anterior modelo. La mordaza que se sitúa en la parte delantera del husillo permite sujetar brocas de distinto diámetro con el giro de ésta.

- WLXY: El modelo se conoce como WL-400. Se caracteriza por una potencia nominal de 75 W. La velocidad máxima que alcanza en vacío es de 12000 rpm. En la siguiente imagen (fig. 4.19), se observa el modelo en cuestión.



Figura 4.19- Modelo WL-400 del fabricante WLXY.

En la imagen anterior (fig. 4.19), se observa un modelo de pequeño tamaño de apenas 0,5 kg. A pesar de que a priori la potencia del dispositivo es muy pequeña y se cree que no será suficiente para realizar los taladrados en las superficies del armario eléctrico, se ha incluido el diseño por si la potencia y el par logrado con el mismo es suficiente.

5. ESTADO DEL ARTE

En el presente capítulo se realizará una descripción de las patentes, diseños y productos similares disponibles en el mercado. La búsqueda realizada ayudará a obtener el diseño objetivo del presente proyecto. Como se ha comentado anteriormente, la realidad actual del mecanizado de armarios eléctricos es la de una persona de la empresa realizando las operaciones manualmente sobre las caras del armario eléctrico. Es decir, reproduciendo lo que indica el plano CAD en la superficie del armario.

Ya que el estado actual del mecanizado de armarios eléctricos es muy precario, ha sido difícil encontrar diseños previos o patentes similares a la idea en la que se basa el presente proyecto. Sin embargo, se pueden extraer ideas y características de otros diseños que se detallarán en el presente capítulo.

5.1. Diseños previos

En la siguiente imagen (fig. 5.1), se observa un dispositivo para la impresión y la realización de múltiples operaciones sobre circuitos impresos “PCBs”.

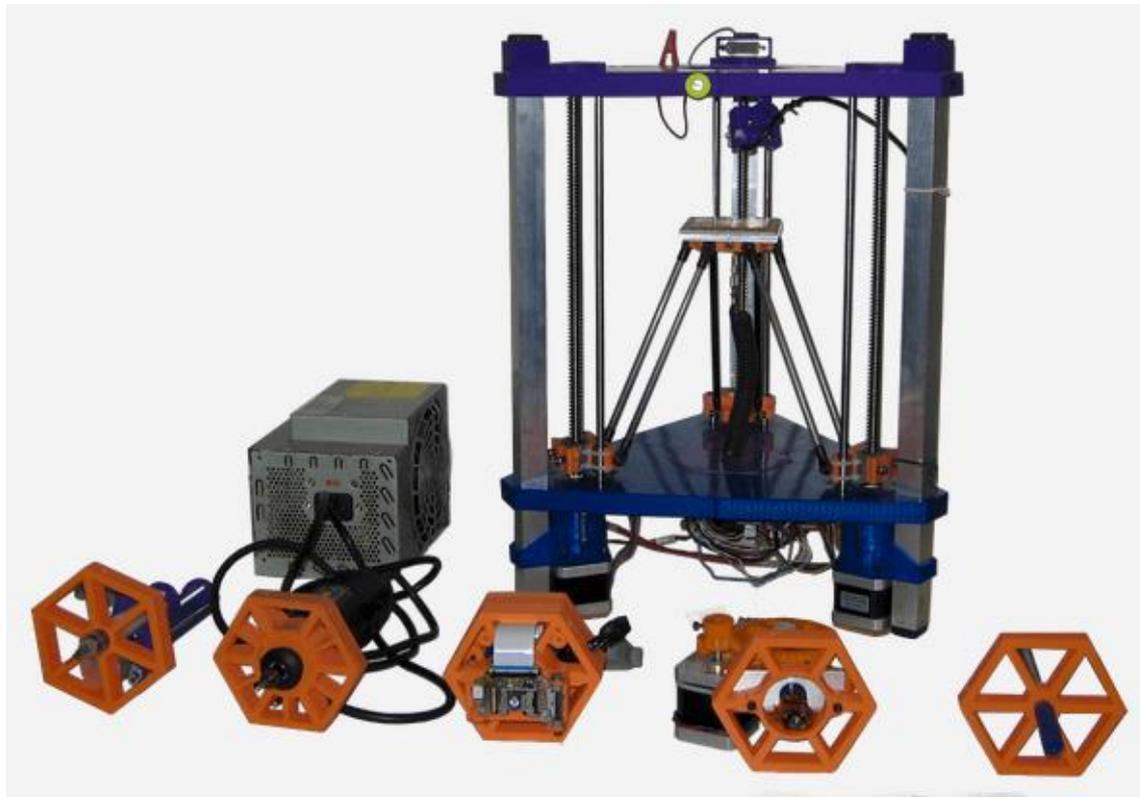


Figura 5.1- TwinTeeth de Diyouware.

En la imagen anterior (fig. 5.1), se observa el dispositivo junto con las distintas herramientas que se pueden colocar en la parte superior. La plataforma o base sobre la que se coloca la pieza se sostiene sobre tres brazos vinculados a tres motores que producen el movimiento de la plataforma respecto a los tres ejes cartesianos. En la imagen, también se pueden observar las distintas herramientas presentes en esta máquina: Laser, fresadora, taladro, impresora 3D, etc. Como se puede observar en la siguiente imagen (fig. 5.2), las herramientas se fijan en la parte superior de la estructura y mediante el movimiento de la plataforma que es gestionado por el software del dispositivo, se realizan las distintas operaciones.

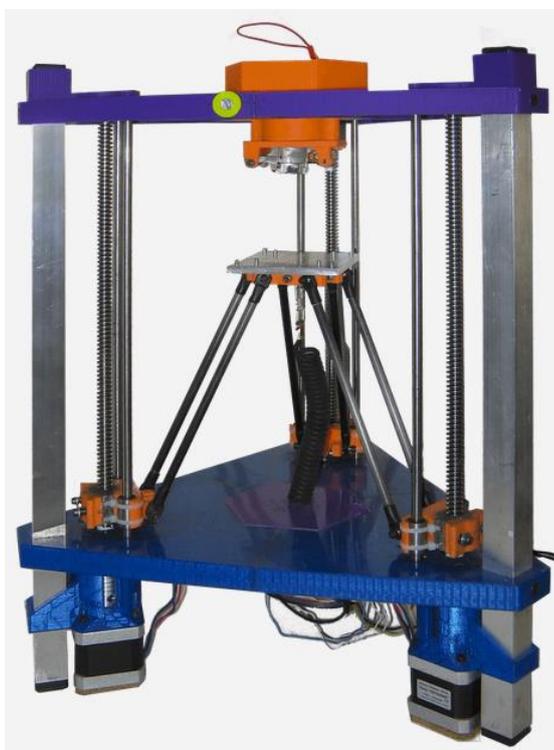


Figura 5.2- Fijación de las herramientas en la parte superior.

Del producto descrito anteriormente, se pueden extraer las siguientes características que podrán ser o no aprovechables para el presente proyecto:

- La herramienta se encuentra fija en la estructura. Por tanto, la precisión es mucho mayor ya que se reducen notablemente las vibraciones.
- La plataforma que se desplaza con relación a los tres ejes cartesianos es la base sobre la que se colocaría el armario eléctrico. Se debe analizar las dimensiones

necesarias para un equipo inspirado en este diseño puesto que el armario eléctrico no puede separarse en piezas para realizar las operaciones de mecanizado.

- Se debe estudiar la viabilidad de que un dispositivo inspirado en este diseño sea portátil.

En la siguiente imagen (fig. 5.3), se observa una impresora 3D de la compañía Atom, concretamente la Atom 2.0.



Figura 5.3- Atom 2.0.

En la imagen anterior (fig. 5.3), se observa cómo el cabezal extrusor del filamento se encuentra sobre la plataforma o base que se desplaza con relación a los tres ejes cartesianos. A diferencia del anterior diseño, la herramienta es la que se mueve y el material impreso se va depositando sobre la base de la máquina. Del presente diseño, se pueden extraer las siguientes características que podrán ser o no aprovechables para el diseño objetivo del proyecto:

- La herramienta es la que se desplaza y, por tanto, se ofrece más bancada para depositar la pieza. Como se ha comentado anteriormente, el armario eléctrico no

puede separarse en piezas para realizar las operaciones de mecanizado. Por tanto, se debería analizar las dimensiones necesarias para un equipo inspirado en este diseño.

- Se debe analizar la viabilidad de que un diseño inspirado en este producto sea portátil. El fabricante indica que el tiempo de montaje es de aproximadamente 8 horas. Por tanto, se debería optimizar el diseño en caso de un producto portátil.
- El espacio de trabajo del diseño son 22 cm de diámetro y las dimensiones del diseño son de aproximadamente 45x45x76 cm con 13kg de peso. Es decir, para obtener un espacio de trabajo de 600 mm o 800 mm, serían necesarias unas dimensiones muy grandes del dispositivo objetivo del proyecto (con el considerable incremento de peso).

En la siguiente imagen (fig. 5.4), se observa una herramienta de fresado portátil. Concretamente, es el modelo LM62000 del fabricante Climax.



Figura 5.4- Fresadora portátil LM62000 de Climax.

En la imagen anterior (fig. 5.4), se observa la estructura del producto. La base de la máquina puede fijarse a una mesa de planitud con amarres modulares. La precisión de la herramienta recae en la planitud de la mesa sobre la que se fija la estructura. El diseño se desplaza por las guías en base a tres motores que controlan la posición de la herramienta

respecto a los tres ejes cartesianos. A continuación, se han extraído las características que podrán ser o no aprovechables para el diseño objetivo del proyecto:

- El tamaño de la pieza a mecanizar no es importante puesto que se puede modificar la posición de la pieza en caso de que ésta sea muy grande. Es necesario hacer “0” en la pieza antes de comenzar el mecanizado.
- Como se ha comentado anteriormente, la precisión de la máquina depende de la mesa de planitud donde se coloque. Sin embargo, en el diseño objetivo del presente proyecto, la precisión no es un requisito muy importante ya que se busca un acabado medio.
- El diseño es portátil y se puede separar en piezas para su transporte de forma sencilla. Además, se pueden ampliar las guías de la máquina y colocarla para mecanizar verticalmente o invertida.
- El producto pesa aproximadamente 10kg, por lo que una persona podría manipularlo sin necesidad de asistencia.

En la siguiente imagen (fig. 5.5), se observa un modelo del fabricante Climax en el que la fijación de la estructura se realiza mediante bridas de apriete manual.



Figura 5.5- Fresadora con anclaje manual de Climax.

En la siguiente imagen (fig. 5.6), se observa un dispositivo para el corte de tubos o la realización de agujeros en el tubo del fabricante Huawei.



Figura 5.6- Máquina para el corte de tubos del fabricante Huawei.

En la imagen anterior (fig. 5.6), se observa el dispositivo fijado al tubo mediante una correa. La máquina dispone de un motor que permite la rotación de la misma respecto al tubo. De esta forma, se puede realizar el corte en todo el perímetro del tubo. A continuación, se detallan las características del producto que podrán ser o no aprovechables para el diseño objetivo del proyecto:

- El dispositivo realiza el corte del tubo mediante laser (posiblemente el método más óptimo para cortar). A pesar de que no se observa ninguna medida de seguridad, en caso de realizar un diseño inspirado en este producto, se deberían tener en cuenta todas las medidas de seguridad necesarias.
- El corte laser puede hacer operaciones de mecanizado en cualquier material. Sin embargo, se debe tener en cuenta que, en caso de realizar un diseño inspirado en este producto, se debería ajustar la potencia para que no se dañara una superficie no objetivo. El uso de esta tecnología probablemente implicaría tener que desmontar el armario eléctrico para realizar las operaciones.
- El dispositivo posee una guía accionada por otro motor que permite desplazar la herramienta en el eje longitudinal del tubo.

En la siguiente imagen (fig. 5.7), se observa el modelo de segunda generación para la limpieza de cristales del fabricante Windoro.



Figura 5.7- Máquina para la limpieza de cristales Windoro.

En la imagen anterior (fig. 5.7), se observa el limpiador de cristales moviéndose por la ventana. La unión de las dos partes se produce mediante una fuerte unión magnética. Dependiendo del grosor del cristal, ésta debe ser más fuerte o más débil. Las escobillas de las dos partes del robot limpian el cristal a medida que avanza. A continuación, se han extraído las características del producto que podrán ser o no aprovechables para el diseño objetivo del proyecto:

- La unión magnética a través del cristal es muy efectiva. Sin embargo, en caso de realizar un diseño basado en este producto, se debería analizar la viabilidad de esta unión con los materiales de los armarios eléctricos comentados anteriormente.
- El dispositivo o robot se desplaza por la superficie. Por lo tanto, se puede adaptar a distintas dimensiones de la misma. Sin embargo, se debería analizar la viabilidad de que un diseño inspirado por este dispositivo se desplace por una cara no uniforme del armario eléctrico. Además, en caso de los materiales

férricos, la capacidad de unión debido a los imanes quedaría anulada por el material intermedio.

En la siguiente imagen (fig. 5.8), se observa una máquina para el enyesado automático de paredes del fabricante Ezrenda.



Figura 5.8- Máquina para el enyesado de paredes Ezrenda.

En la imagen anterior (fig. 5.8), se observa la máquina de enyesado automático. El dispositivo se coloca sobre dos vigas según la indicación del fabricante. El movimiento ascendente de la máquina se produce mediante los motores que facilitan el avance a través de las guías. La máquina dispone de un depósito donde se almacena el yeso que se va aplicando sobre la pared objetivo. A continuación, se han extraído las características del producto que podrán ser o no aprovechables para el diseño objetivo del proyecto:

- En el dispositivo que se ha mostrado anteriormente, la operación de enyesado se va realizando a medida que la máquina avanza verticalmente por la pared a través de las guías. En caso de realizar un diseño inspirado en esta característica, se deben tener en cuenta los inconvenientes de realizar el mecanizado suspendido verticalmente.
- La máquina es portátil, pero depende de dos elementos externos como son las vigas sobre las que avanza verticalmente. Además, debido al peso, está provisto de unas ruedas que ayudan a su desplazamiento. En caso de realizar un diseño

inspirado en esta máquina, no debe haber dependencia de elementos externos al sistema de mecanizado portátil.

5.2. Patentes

En el presente apartado se recogen todas aquellas patentes encontradas tras la búsqueda realizada. Algunas de las características de los diseños publicados podrán ser o no aprovechables para el diseño objetivo del presente proyecto.

En la siguiente imagen (fig. 5.9), se observa una imagen de la patente US1675374A. El diseño publicado, consiste en una máquina de mecanizado portátil para realizar operaciones de fresado.

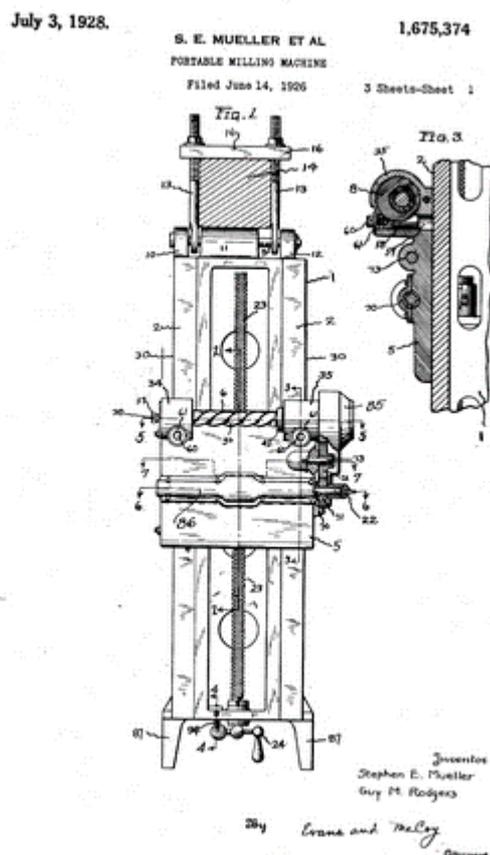


Figura 5.9- Máquina de mecanizado portátil “US1675374A”.

En la imagen anterior (fig. 5.9), se observan algunos detalles de las características del diseño publicado. El diseño dispone de unas placas con tornillos para el anclaje y sujeción por apriete a cualquier superficie plana (en vertical o en horizontal). Así mismo, un tornillo

sin fin permite el desplazamiento de la herramienta a lo largo del eje de trabajo. La pieza a mecanizar debe colocarse y fijarse pegada a la superficie de apoyo de la herramienta. Por último, la penetración de la herramienta se regula con otro tornillo sin fin.

En la siguiente imagen (fig. 5.10), se observa una imagen de la patente “US724059A”. El diseño publicado, consiste en un dispositivo para la limpieza de ventanas.

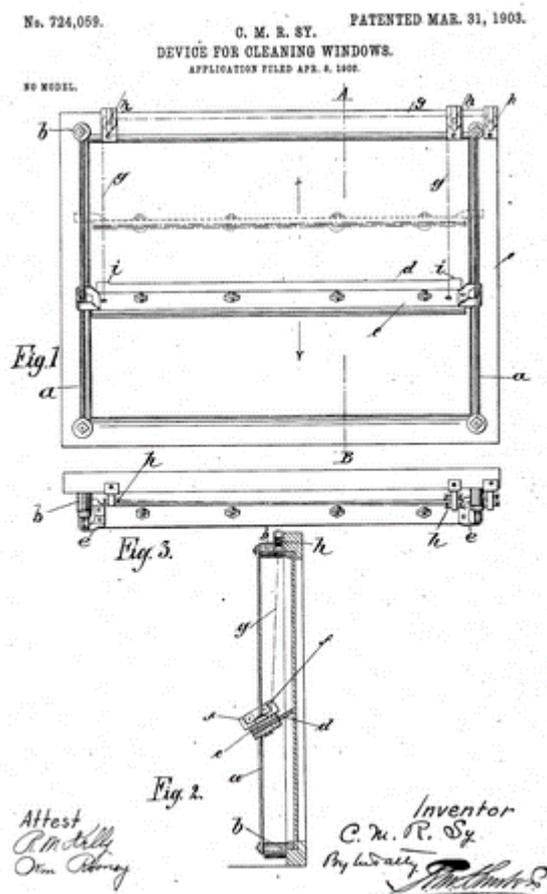


Figura 5.10- Dispositivo para la limpieza de ventanas “US724059A”.

En la imagen anterior (fig. 5.10), se observan algunas de las características del diseño publicado. El dispositivo se ancla a las cuatro esquinas de la ventana, de forma que queda presentado sobre la ventana para proceder a la limpieza. El diseño avanza por la ventana limpiando la suciedad mediante unos motores que producen la rotación del tornillo sin fin. El dispositivo se puede adaptar a ventanas de distintas dimensiones adaptando la posición de los topes (que a su vez actúan como anclajes para las esquinas).

En la siguiente imagen (fig. 5.11), se observa una imagen de la patente “US3688739”. La publicación, representa un dispositivo para pintar paredes.

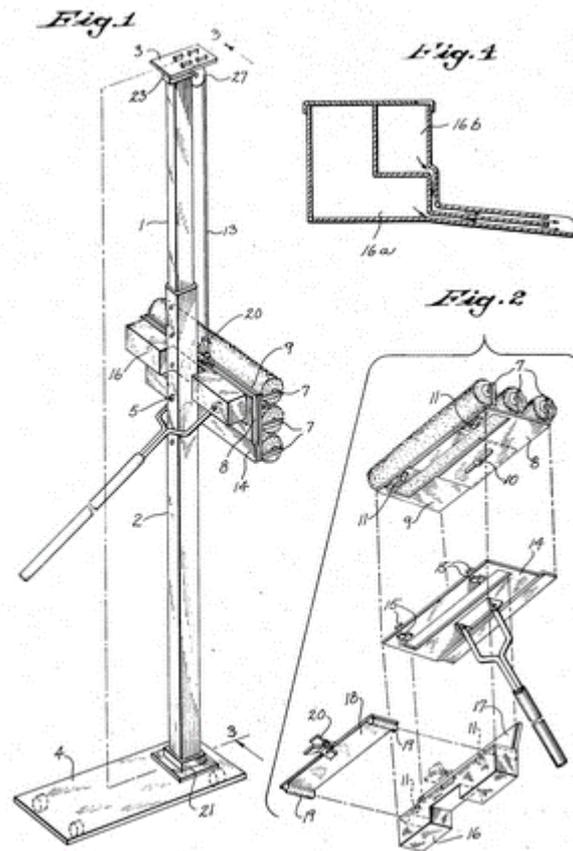


Figura 5.11- Dispositivo para pintar paredes “US3688739”.

En la imagen anterior (fig. 5.11), se observan algunas de las características del diseño publicado. El dispositivo se desplaza verticalmente por la guía con el impulso del usuario, de esa forma se consigue una aplicación uniforme de la pintura sobre la superficie de la pared. El diseño cuya base es una placa, debe moverse manualmente para seguir pintando verticalmente en la región contigua.

6. CÁLCULOS INICIALES

En el presente capítulo se muestra un resumen de los resultados obtenidos en el anexo “Anexo II – Cálculos Iniciales”.

6.1. Selección de la fresa

Se ha seleccionado la fresa del fabricante Sandvik. El modelo CoroMill® Plura recomienda los siguientes parámetros de corte para las operaciones a realizar en función del material en el que se realice el mecanizado. Dichos parámetros se muestran en la siguiente tabla (tabla 6.1).

	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/diente)	Profundidad de corte max (mm)
Acero (<190HB)	245	0,050	7,5
Acero inoxidable (<200HB)	90	0,050	7,5
Acero laminado en frío	245	0,050	7,5
Aluminio (<75HB)	330	0,180	7,5

Tabla 6.1- Parámetros de corte en función del material.

En la tabla anterior (tabla 6.1), se puede observar que no se han indicado parámetros de corte para el polímero. El fabricante admite que la fresa es apta para mecanizar dicho material. Sin embargo, no detalla los parámetros de corte que deben utilizarse.

6.2. Selección de la broca

Se ha seleccionado la broca del fabricante WNT. El modelo VX 3xD Mastertool Performance recomienda los siguientes valores para la operación de mecanizado en función del material en el que se realice. En la siguiente tabla (tabla 6.2), se muestran los parámetros.

	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/diente)	Profundidad de corte max (mm)	n (rpm)
--	----------------------------	--------------------	-------------------------------	---------

Acero (<190HB)	33 - 38	0,06	6 (3xD)	5200 - 6000
Acero inoxidable (<200HB)	18	0,04	6 (3xD)	2500
Acero laminado en frío	33 - 38	0,06	6 (3xD)	5200 - 6000
Aluminio (<75HB)	70	0,08	6 (3xD)	11000

Tabla 6.2- Parámetros de corte en función del material.

En la tabla anterior (tabla 6.2), se puede observar que no se han indicado parámetros de corte para el polímero. El fabricante no admite que la broca sea apta para mecanizar dicho material. Sin embargo, se han observado aplicaciones donde se usa esta broca para mecanizar polímeros. Por tanto, se deberán realizar ensayos para determinar los parámetros de corte para este material.

6.3. Selección del husillo para fresado

Se ha seleccionado el husillo de 1,7 kg del fabricante Kress ya que tiene un rango de velocidades muy amplio, siendo posible ajustar la velocidad deseada hasta un máximo de 25000 rpm. La gran cantidad de información obtenida sobre las distintas aplicaciones del husillo Kress 1050, las dimensiones contenidas del mismo, la disponibilidad de casquillos intercambiables para el anclaje de distintas herramientas y la gran potencia de la herramienta, han sido los factores determinantes para seleccionar este husillo.

6.4. Selección del husillo para punteado-taladrado

Se ha optado por el husillo de 1,3 kg del fabricante Kress ya que tiene un rango de velocidades muy amplio, siendo posible ajustar la velocidad deseada hasta un máximo de 25000 rpm. El husillo Kress 530 tiene gran potencia en relación con sus dimensiones contenidas. Así mismo, en el catálogo del fabricante se incluye gran cantidad de información que será muy importante para el desarrollo del presente proyecto.

6.5. Parámetros de corte

A partir del análisis de varias operaciones básicas a realizar sobre el armario eléctrico: taladrado-punteado con la broca y el husillo para taladrado, mecanizado del agujero para una seta de emergencia y mecanizado del display para el muestreo de datos con la fresa y el husillo para fresado, se han obtenido unos parámetros de corte para las operaciones a realizar con la broca, la fresa y los husillos seleccionados. Se debe tener en cuenta que son parámetros iniciales que deben ser ajustados hasta encontrar el valor óptimo de la operación. En las siguientes tablas (tabla 6.3 y tabla 6.4), se muestran los parámetros obtenidos para un armario eléctrico de acero.

6.5.1. Broca y husillo para punteado-taladrado

Operación	Velocidad de corte (m/min)	Velocidad del husillo (rpm)
Punteado - Taladrado	18	2800

Tabla 6.3- Parámetros de corte para la broca.

6.5.2. Fresa y husillo para fresado

Operación	Velocidad de corte (m/min)	Velocidad del husillo (rpm)
Taladrado	18	2800
Fresado en rampa circular	100 - 150	8000
Fresado	150 – 180	9550

Tabla 6.4- Parámetros de corte para la fresa

7. DISEÑOS INICIALES

En el presente capítulo se expondrán una serie de bocetos o diseños iniciales a partir de los cuales se desarrollará el diseño final o prototipo del presente proyecto. La selección del diseño final en base a los bocetos mostrados será teniendo en cuenta las características potenciales de cada uno. Para ello, se realizará una valoración objetiva de los diseños en base a diversos criterios según se establece en la norma VDI 2225.

El desarrollo de la valoración y el resultado de esta se puede observar en detalle en el anexo “Anexo III – VDI 2225”. Sin embargo, en el último apartado del presente capítulo se resumirán los resultados obtenidos.

7.1. Diseño inicial I

En la siguiente imagen (fig. 7.1), se muestra un boceto del primer diseño propuesto. Se debe tener en cuenta que sus dimensiones y componentes son orientativos. En este apartado se describirán las características del diseño o boceto en cuestión. De esta forma resultará mucho más sencillo comprender su funcionamiento y se obviarán las imperfecciones que residen en el mismo. Además, se citarán las principales ventajas e inconvenientes de cara a la valoración frente al resto de diseños expuestos.

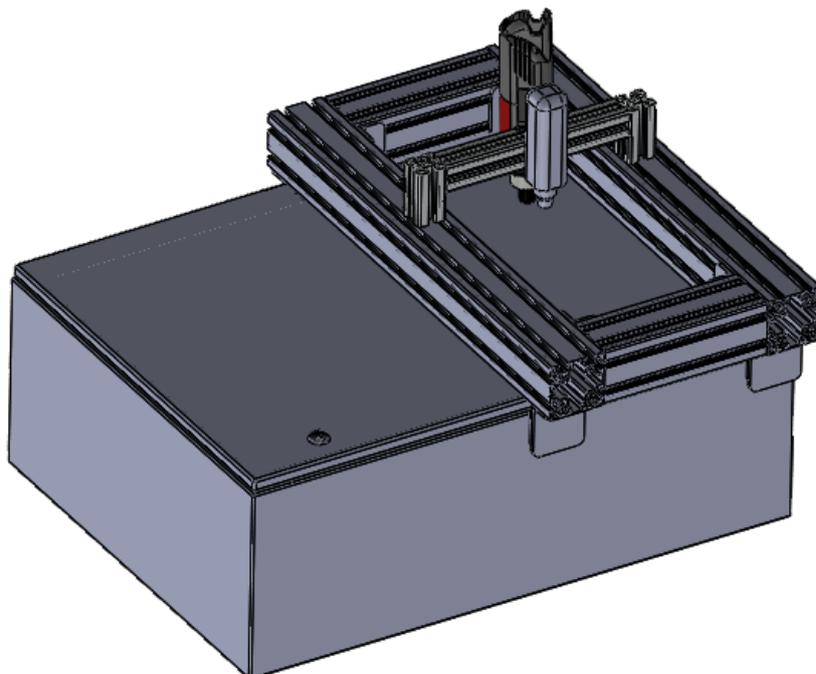


Figura 7.1- Boceto del diseño inicial I colocado sobre el armario eléctrico.

En la imagen anterior (fig. 7.1), se observa el diseño fijado sobre la parte superior del armario eléctrico. Como se puede observar, se trata de un diseño portátil que se colocaría encima de la superficie a mecanizar. Los perfiles laterales se apoyarían sobre la puerta del armario eléctrico (en este caso). En la siguiente imagen (fig. 7.2), se observa un boceto de la estructura del prototipo.

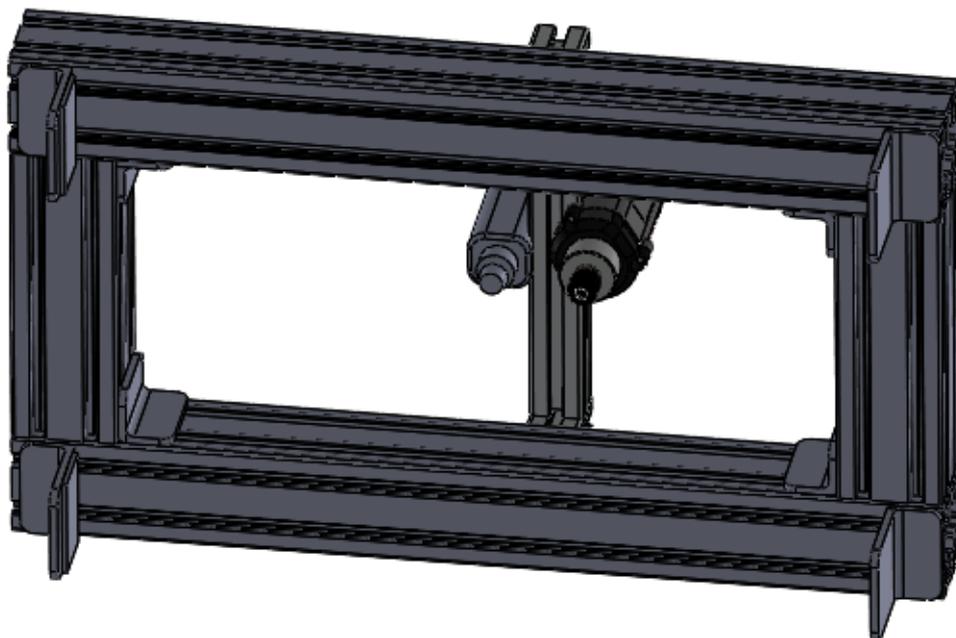


Figura 7.2- Boceto de la estructura del diseño inicial I.

En la imagen anterior (fig. 7.2), se observa la parte inferior de la estructura del diseño. La fijación de la estructura con el armario eléctrico se realiza en base a cuatro topes, dos móviles y dos fijos. Los topes fijos situados en unas carrileras que se encuentran en la parte inferior de los perfiles que dan el apoyo, descansan sobre una superficie perpendicular a la de mecanizado. Adicionalmente, existen otros dos topes móviles que desplazándose por las carrileras se sitúan cerca de la otra superficie perpendicular a la de mecanizado y paralela a la anterior. Los topes móviles se sitúan cerca de la superficie ya que están provistos de un elemento de sujeción adicional mediante un tornillo de apriete. De esta forma, se asegura una fijación y sujeción perfecta.

En la siguiente imagen (fig. 7.3), se observa cómo se realiza la fijación de la estructura del diseño con el armario eléctrico. Las flechas indican los elementos de fijación descritos anteriormente.

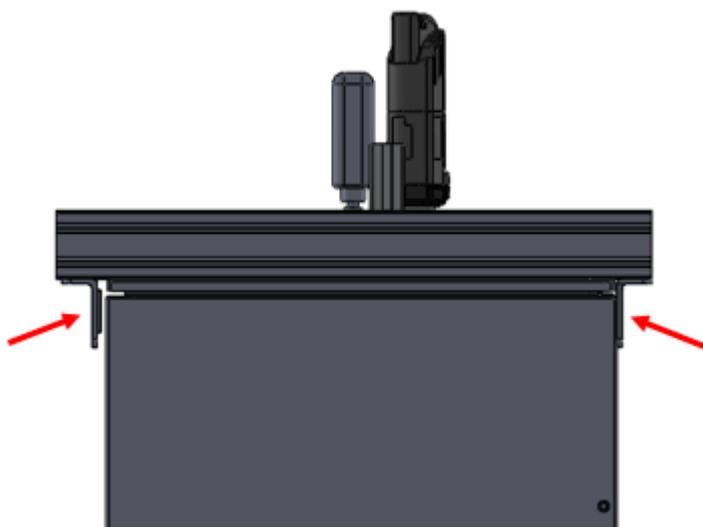


Figura 7.3- Elementos de fijación con el armario eléctrico.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 7.3), en la parte derecha (indicados por la flecha) se sitúan los dos topes fijos. Por el otro lado, en la parte izquierda de la imagen se sitúan los dos topes móviles. Como se ha comentado anteriormente, los topes móviles están provistos de un elemento adicional de sujeción basado en un tornillo de apriete. En la siguiente imagen (fig. 7.4), se observan varios ejemplos de este dispositivo para el apriete.



Figura 7.4- Ejemplos de elementos de apriete.

En la imagen anterior (fig. 7.4), se muestran dos ejemplos del posible método de apriete a emplear en los topes móviles. El dispositivo de apriete que se muestra en la parte

izquierda de la imagen, se emplearía sin el tope situado en su extremo ya que debe hacer presión contra la superficie del armario eléctrico. En cambio, en el dispositivo que se muestra en la parte derecha de la imagen anterior (fig. 7.4), sería suficiente con adaptar el método de unión. Se debe tener en cuenta que ambos dispositivos son ejemplos del sistema de apriete a desarrollar en caso de seleccionar este diseño o algunas de las características de este.

En la siguiente imagen (fig. 7.5), se muestra un boceto de la parte superior (parte operativa) de la estructura del primer diseño inicial del sistema de mecanizado portátil.

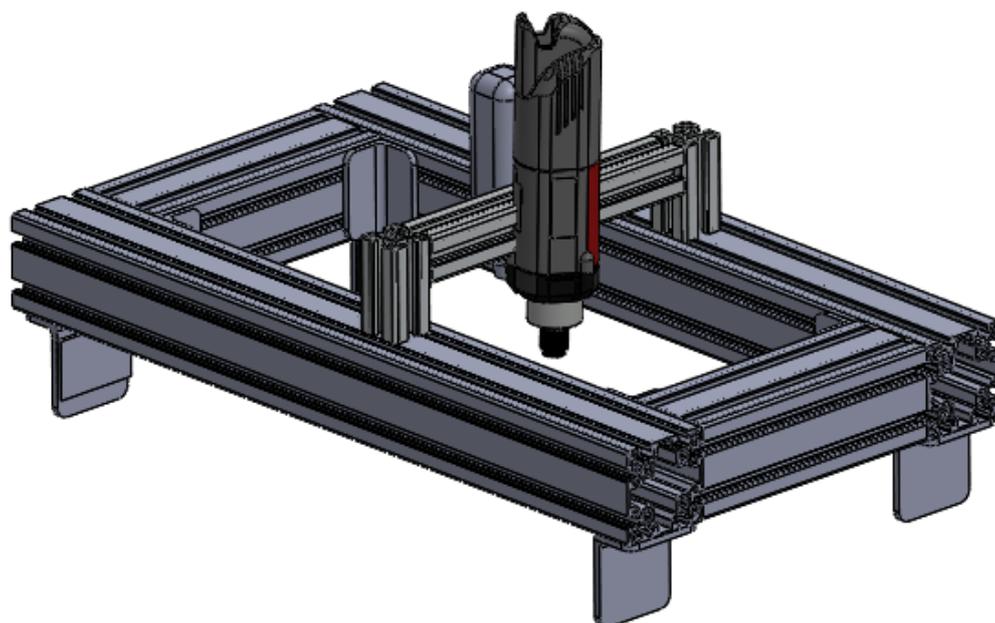


Figura 7.5- Parte superior del diseño inicial I.

En la imagen anterior (fig. 7.5), se observa una estructura similar a la de una fresadora portátil de control numérico (CNC) como las que se mostraban en apartados anteriores (fig. 5.4 o fig. 5.5). Esta estructura permite el posicionamiento de la herramienta en cualquier posición (x, y, z) del espacio de trabajo del dispositivo. En la siguiente imagen (fig. 7.6), se observa un ejemplo del sistema de posicionamiento de la herramienta. En la imagen, se observan los motores encargados del desplazamiento en x, y, z del sistema de mecanizado portátil. Además, también se han marcado los considerados ejes (x, y, z) para facilitar la explicación. Como se puede observar, existen dos motores que permiten controlar el posicionamiento de la herramienta a lo largo del eje x. Se debe tener en cuenta que, en caso de seleccionar este diseño o una característica similar a la de este diseño, resultará

imprescindible detallar si se opta por utilizar uno o dos motores para el control del posicionamiento en x del dispositivo.

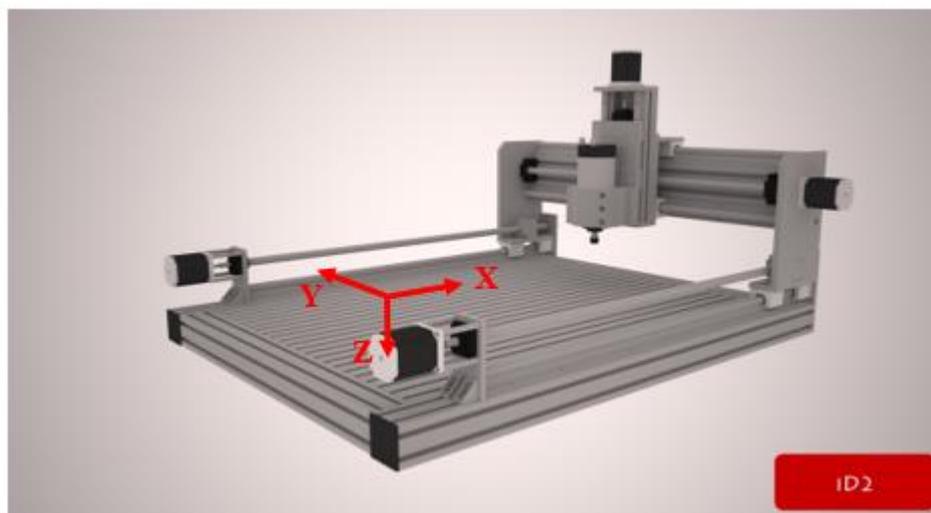


Figura 7.6- Ejemplo de sistema de posicionamiento de la herramienta.

En la imagen anterior (fig. 7.6), también se observa el motor asociado a un tornillo sin fin que permite el desplazamiento de la herramienta a lo largo del eje y. Para el desplazamiento de la herramienta a lo largo del eje z, se dispone de otro motor. Sin embargo, como se puede observar en las imágenes anteriores (fig. 7.4 y fig. 7.5), en caso de seleccionar este diseño o una característica similar a la de este diseño, se emplearán dos husillos. Un husillo para las operaciones de punteado-taladrado y otro husillo para las operaciones de re-traladrado, cajeado y mecanizado en rampa circular. En la siguiente imagen (fig. 7.7), se observa un ejemplo de dispositivo de mecanizado portátil con dos husillos.



Figura 7.7- Ejemplo de un dispositivo de mecanizado con dos husillos.

En la imagen anterior (fig. 7.7), se observa un dispositivo de mecanizado con dos husillos. Como se ha comentado anteriormente, un husillo se empleará para las operaciones de punteado-taladrado y otro para el resto de las operaciones comentadas. En caso de seleccionar un diseño con esta característica, se deberá determinar si el desplazamiento de los husillos se realiza de forma independiente empleando dos motores o de algún modo en el que se use un sistema de poleas (o algún diseño similar) con el que se gestione el movimiento empleando solamente un motor. En definitiva, el diseño de la gestión del desplazamiento de los husillos en el eje y y en el eje z debe tratarse en detalle en caso de seleccionar ese diseño o alguna característica del mismo.

7.1.1. Características del diseño inicial I

A continuación, se resumen las características principales del presente diseño:

- Diseño portátil que puede llevarse al lugar donde se sitúa el armario eléctrico para realizar el mecanizado.
- Diseño adaptable a las dimensiones de los armarios eléctricos presentes en el mercado.
- Espacio de trabajo del diseño ampliable modificando la longitud de los perfiles y de los elementos que posicionan la herramienta como las correas y los tornillos sin fin.
- Fijación mediante prensillas ajustables que hacen presión sobre las caras perpendiculares a la de mecanizado.
- Posicionamiento de la herramienta respecto a los ejes x, y, z empleando un conjunto de motores controlados electrónicamente.
- Diseño provisto de dos husillos, uno se emplea para realizar operaciones de punteado-taladrado y otro para el resto de las operaciones como re-traladrado, cajeado y mecanizado en rampa circular.
- Movimiento de los husillos de forma independiente empleando dos motores o de forma alternativa empleando solamente un motor. Se debe tener en cuenta que esta será una característica por definir.

- Es un diseño en el que resultaría muy sencillo reducir las vibraciones durante el mecanizado de la superficie del armario eléctrico.

7.1.2. Ventajas e inconvenientes del diseño inicial I

A partir de las características descritas en el apartado anterior, se han obtenido las ventajas e inconvenientes del presente diseño:

Ventajas:

- Diseño portátil.
- Mecanizado con avance de la herramienta en vertical (convencional).
- Espacio de trabajo ampliable.
- Posicionamiento en x, y, z.
- Dos husillos.
- Reducidas vibraciones.

Inconvenientes:

- Posibles daños o marcas a la superficie de fijación.
- Necesidad de elementos adicionales para fijación en armarios con formas no ortogonales.
- Control del movimiento alternativo o independiente de dos husillos empleados en este diseño.

7.2. Diseño inicial II

En la siguiente imagen (fig. 7.8), se muestra un boceto del segundo diseño propuesto. Al igual que ocurriría en el caso del primer diseño propuesto, se debe tener en cuenta que sus dimensiones y componentes son orientativos. En este apartado se describirán las características del diseño o boceto en cuestión. De esta forma, resultará mucho más sencillo comprender su funcionamiento y se obviarán las imperfecciones que residen en el mismo. Además, al igual que ocurre con el resto de los diseños propuestos, se citarán las principales ventajas e inconvenientes de cara a la comparativa final.

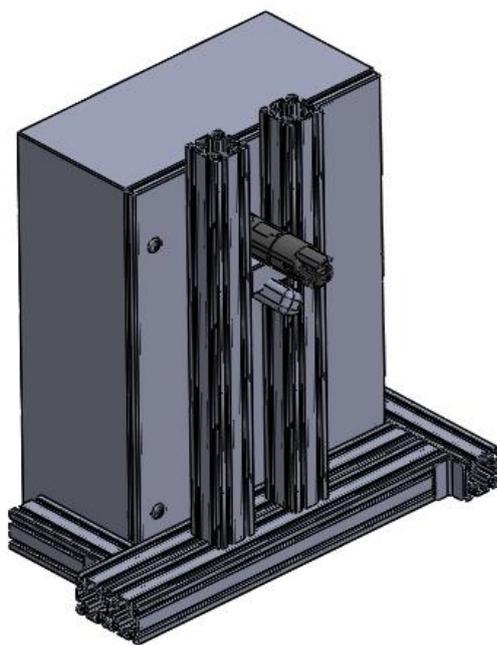


Figura 7.8- Boceto del diseño inicial II colocado en posición de operación.

En la imagen anterior (fig. 7.8), se observa la estructura del prototipo colocada sobre un lateral del armario eléctrico. Como se puede deducir a partir de la imagen, en este caso el prototipo descansa fijado sobre el suelo y no está concebido para ser portátil. La superficie del armario eléctrico a mecanizar debe colocarse enfrentada a los husillos del diseño. En la siguiente imagen (fig. 7.9), se observa la estructura del presente diseño.

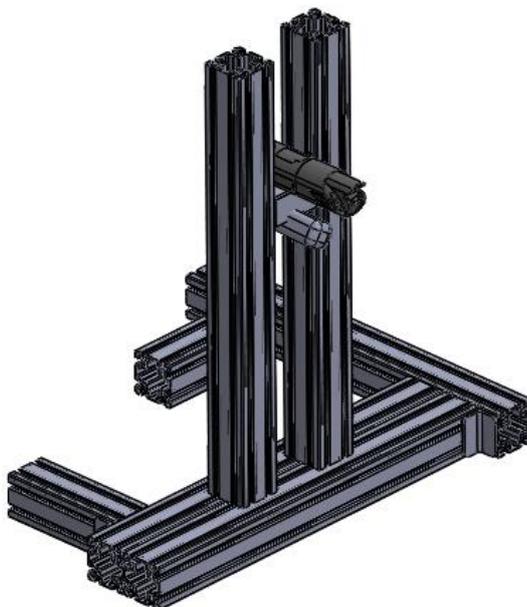


Figura 7.9- Estructura del diseño inicial II.

En la imagen anterior (fig. 7.9), se observa la estructura del diseño en cuestión. El mecanizado se realiza en horizontal, es decir, como el taladrado que se realiza sobre una pared y no de manera convencional como ocurre en cualquier fresadora CNC. En la parte inferior de la estructura se observan dos piezas que están bocetadas como dos perfiles. Sin embargo, serán dos piezas o prensillas encargadas de la inmovilización del armario eléctrico que, aunque descansa sobre el suelo, puede moverse debido a las fuerzas producidas por el mecanizado. Para la fijación, se emplearían dispositivos similares a los que se mostraban en la imagen anterior (fig. 7.4). Dichos dispositivos son móviles, es decir, permiten fijar armarios de distintas dimensiones.

En la siguiente imagen (fig. 7.10), se observan los husillos encargados de realizar las operaciones de mecanizado.

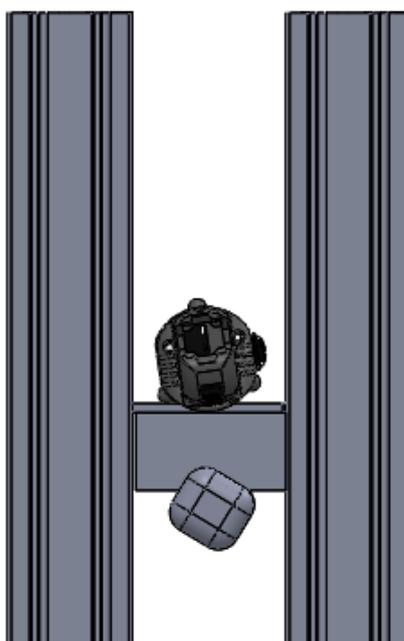


Figura 7.10- Husillos empleados en el diseño inicial II.

Como se puede observar en la imagen (fig. 7.10) y al igual que ocurre en el diseño anterior, se emplearán dos husillos. Un husillo para las operaciones de punteado-taladrado y otro husillo para las operaciones de re-traladrado, cajeado y mecanizado en rampa circular. Sin embargo, a diferencia del anterior diseño y como se tratará en detalle en las siguientes líneas, el control de la profundidad de los husillos deberá gestionarse de forma independiente y no existirá la posibilidad de controlarse de forma alternativa.

En la siguiente imagen (fig. 7.11), se muestra el sistema de coordenadas asociado al control del posicionamiento del cabezal de mecanizado en el espacio de trabajo.

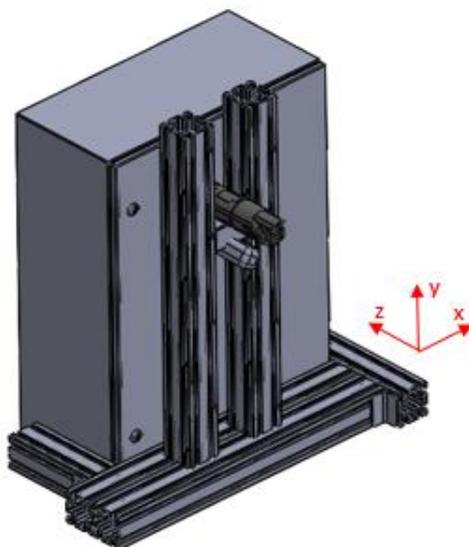


Figura 7.11- Sistema de coordenadas del diseño inicial II.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 7.11), es posible posicionar el cabezal de la herramienta en cualquier punto del espacio de trabajo. Al igual que ocurría en el anterior diseño, se observa un motor asociado a un tornillo sin fin que permite el desplazamiento de la herramienta a lo largo del eje x. El control empleado sería por tanto similar al que se observaba en la imagen anterior (fig. 7.6). En cuanto al movimiento en el eje y, debido a la mayor resistencia que se produce en el movimiento vertical por el peso asociado al doble cabezal, se hace necesario emplear un sistema de piñón y cremallera como el que se observa en la siguiente imagen (fig. 7.12).

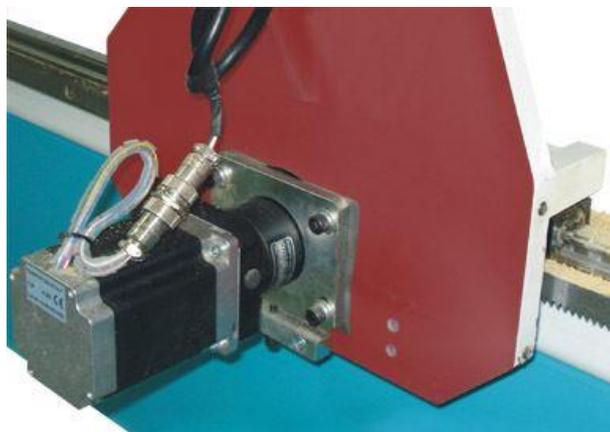


Figura 7.12- Movimiento mediante piñón y cremallera.



Finalmente, respecto al movimiento del doble cabezal en el eje z, se debe emplear dos motores para controlar el posicionamiento de cada uno de los cabezales. Como se ha comentado anteriormente, resulta imposible lograr un movimiento de los cabezales alternativo empleando la disposición de los husillos que se observa en el presente diseño.

7.2.1. Características del diseño inicial II

A continuación, se resumen las características principales del presente diseño:

- El diseño está concebido para no desplazarse de la posición donde se fija al suelo. De esta forma, se consigue dotarle de una mayor precisión y menor vibración durante el mecanizado
- Diseño adaptable a las dimensiones de los armarios eléctricos presentes en el mercado. Los dispositivos móviles presentes en el diseño permiten fijar armarios de distintas dimensiones.
- Espacio de trabajo del diseño ampliable modificando la longitud de los perfiles y de los elementos que posicionan la herramienta como las correas y los tornillos sin fin.
- Fijación mediante prensillas ajustables que hacen presión sobre las caras perpendiculares a la de mecanizado.
- Posicionamiento de la herramienta respecto a los ejes x, y, z empleando un conjunto de motores controlados electrónicamente.
- Diseño provisto de dos husillos, uno se emplea para realizar operaciones de punteado-taladrado y otro para el resto de las operaciones como re-traladrado, cajeado y mecanizado en rampa circular.
- Movimiento de los husillos de forma independiente empleando dos motores.

7.2.2. Ventajas e inconvenientes del diseño inicial II

A partir de las características descritas en el apartado anterior, se han obtenido las ventajas e inconvenientes del presente diseño:

Ventajas:

- Espacio de trabajo ampliable.
- Posicionamiento en x, y, z.
- Dos husillos.
- Reducidas vibraciones y elevada precisión.

Inconvenientes:

- Diseño estático, es decir, no portátil.
- Mecanizado con avance de la herramienta en horizontal (no convencional).
- Posibles daños o marcas a la superficie de fijación.
- Necesidad de elementos adicionales para fijación en armarios con formas no ortogonales.
- Control del movimiento alternativo o independiente de dos husillos empleados en este diseño.

7.3. Diseño inicial III

En la siguiente imagen (fig. 7.13), se muestra un boceto del tercer diseño propuesto. Al igual que ocurría en el caso del primer y segundo diseño propuesto, se debe tener en cuenta que sus dimensiones y componentes son orientativos. En este apartado se describirán las características del diseño o boceto en cuestión. De esta forma, resultará mucho más sencillo comprender su funcionamiento y se obviarán las imperfecciones que residen en el mismo. Además, al igual que ocurre con el resto de los diseños propuestos, se citarán las principales ventajas e inconvenientes de cara a la valoración o comparativa final.

Antes de comenzar con la descripción del presente diseño propuesto, se debe tener en cuenta que quizás sea la alternativa más atrevida y arriesgada. Además, respecto a la valoración, quizás sea la opción con más inconvenientes y prácticamente ninguna ventaja respecto al resto. Sin embargo, con este diseño se pretende aportar una visión vanguardista y extraer características que puedan ayudar a obtener un diseño definitivo óptimo.

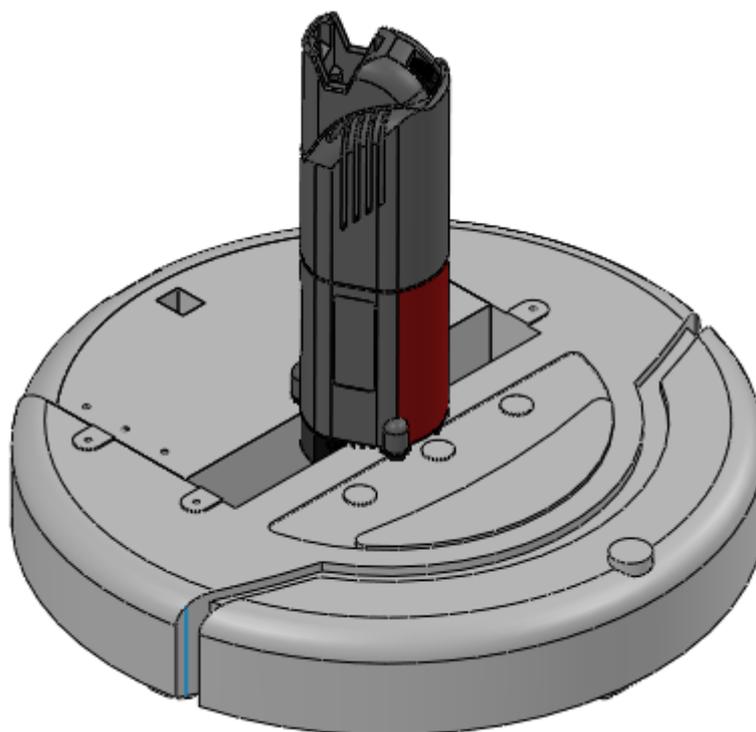


Figura 7.13- Boceto del diseño inicial III colocado en posición de operación.

En la imagen anterior (fig. 7.13), se observa el tercer diseño propuesto. El prototipo está basado en un robot como el que se observaba en la imagen (fig. 5.7) o como el robot ampliamente conocido que se utiliza para la limpieza de los hogares.

El control del movimiento del robot hasta el punto de operación se realiza mediante la utilización de una serie de sensores y motores. Una vez que se hace 0, es decir, se encuentra el origen empleando una esquina o un punto marcado en la superficie, el robot avanza siguiendo la trayectoria calculada y al mismo tiempo va realizando las operaciones de mecanizado solicitadas.

Sin realizar ningún cálculo y observando cualquier fresadora o torno convencional se puede deducir que un prototipo de estas características generaría una gran cantidad de vibraciones que no serían absorbidas por el modelo y producirían una gran imprecisión. Sin embargo, estas ventajas e inconvenientes del diseño se tratarán en detalle en el apartado correspondiente.

En la siguiente imagen (fig. 7.14), se observa una vista en alzado del prototipo o diseño inicial III.

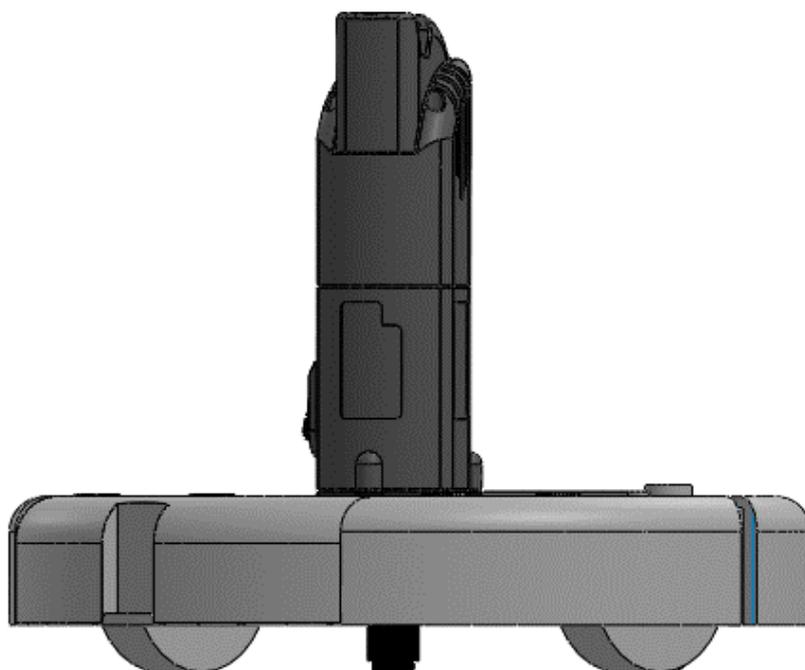


Figura 7.14- Alzado del diseño inicial III.

En la imagen anterior (fig. 7.14), se observa el husillo con el que se realizan las operaciones de mecanizado. En este caso todas las operaciones se realizarían con un solo husillo debido a las dimensiones contenidas del diseño inicial III. En el caso de los diseños anteriores se emplearán dos husillos en los que la sujeción de la broca se realizará mediante unos casquillos como los que se observa en la siguiente imagen (fig. 7.15).



Figura 7.15- Casquillos para la sujeción de las brocas.

David Gómez Arias

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 7.15), los casquillos mostrados anteriormente sirven para fijar la broca al cabezal del husillo. Es decir, cada husillo tendría un casquillo para fijar la broca correspondiente. Sin embargo, debido a que en el presente diseño solo se emplea un husillo, sería necesario realizar un casquillo a medida que permita la fijación de ambas brocas de distinto diámetro. Además, resultaría necesario realizar un cambio de broca (cambio de herramienta) entre las distintas operaciones a realizar. Este cambio de broca no es deseable como se recoge en las especificaciones técnicas del presente proyecto.

7.3.1. Características del diseño inicial III

A continuación, se resumen las características principales del presente diseño:

- El diseño está concebido para desplazarse por la superficie a mecanizar del armario eléctrico a medida que realiza las operaciones. Esto produce que se obtenga menor precisión y mayores vibraciones durante el mecanizado.
- Diseño adaptable a las dimensiones de los armarios eléctricos presentes en el mercado. No es necesario realizar ninguna modificación en el dispositivo.
- Espacio de trabajo del diseño sin límites. Sólo es necesario conocer el “cero” desde donde se inician las operaciones de mecanizado de la superficie en cuestión.
- Desplazamiento rodando sobre la superficie del armario eléctrico. Se emplean una serie de motores y sensores que permiten controlar el posicionamiento de la herramienta en base al posicionamiento del robot.
- Diseño provisto de un solo husillo. El mismo husillo se emplea para realizar operaciones de punteado-taladrado y para el resto de las operaciones como re-taladrado, cajeado y mecanizado en rampa circular.
- El avance del husillo en el eje z se consigue mediante un motor que desplaza la estructura sobre la que se fija el husillo.

7.3.2. Ventajas e inconvenientes del diseño inicial III

A partir de las características descritas en el apartado anterior, se han obtenido las ventajas e inconvenientes del presente diseño:



Ventajas:

- Espacio de trabajo sin límites.
- Diseño portátil.
- Mecanizado en vertical, es decir, convencional.
- Posicionamiento en x, y, z mediante motores y sensores. Posicionamiento en primer lugar del robot y después avance de la herramienta para realizar la operación.

Inconvenientes:

- Operaciones realizadas en zonas con cierta distancia a los bordes dependiendo de las dimensiones del robot.
- Vibraciones e imprecisión debido a que el diseño no está fijado a la superficie de operación.
- Dificultad de operación en superficies irregulares.
- Diseño con un solo husillo en el que se hace necesario realizar un cambio de herramienta.
- Casquillo a medida para la fijación de las brocas.

7.4. Resultados de la VDI 2225

Antes de comenzar a exponer los resultados, se hace necesario comentar que cualquiera de las características que se observan en los diseños expuestos pueden ser utilizadas en el diseño final. Es decir, una característica concreta no está asociada a un diseño determinado, sino que es objetivo de esta fase emplear los mejores rasgos para la consecución del diseño definitivo.

En el presente apartado se muestra un resumen de los resultados obtenidos en el anexo “Anexo III – VDI 2225”.

Las características que se han considerado más relevantes y que han sido ponderadas en el presente anexo son las siguientes:

- Fijación del diseño (Fijado al armario eléctrico, fijado al suelo o móvil).
- Número de husillos empleados (dos husillos o un solo husillo).
- Mecanizado (vertical/convencional u horizontal).

En la siguiente imagen (fig. 7.16), se observan los resultados que se encuentran detallados en el anexo “Anexo III – VDI 2225”.

Fijado al armario eléctrico	A1
Fijado al suelo	A2
Móvil	A3

Un solo husillo	B1
Dos husillos	B2

Vertical (convencional)	C1
Horizontal	C2

Figura 7.16- Resultados de la VDI 2225.

En la imagen anterior (fig. 7.16), se observan cuáles son las características más apropiadas (en verde) según los resultados obtenidos en el método de decisión basado en la obtención de la mejor alternativa al mínimo coste.

8. DISEÑO DEFINITIVO

Una vez mostrados los prototipos o bocetos iniciales y a partir de la obtención de los mejores resultados en base a la ponderación de las características más relevantes, se ha desarrollado el diseño objetivo del presente proyecto. En la siguiente imagen (fig. 8.1), se observa una vista isométrica del diseño situado en la posición de operación fijado sobre el armario eléctrico.

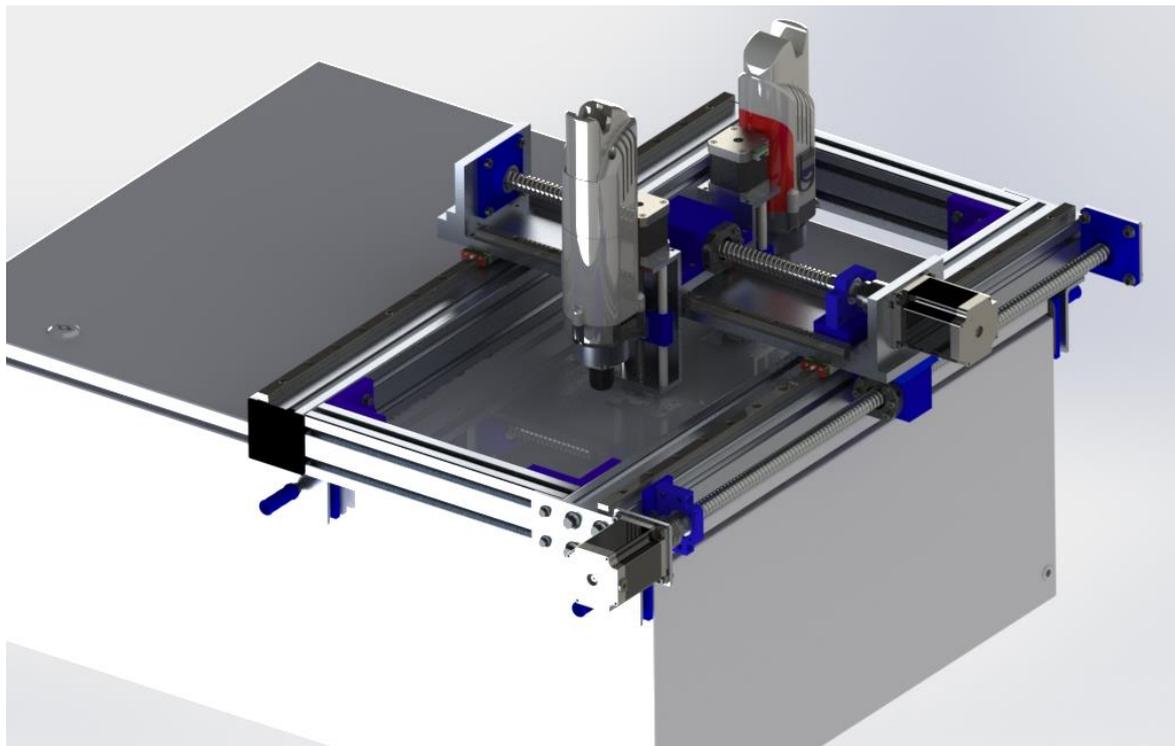


Figura 8.1- Sistema de mecanizado portátil situado sobre el armario eléctrico.

En los siguientes apartados se llevará a cabo una descripción en detalle de la parte electrónica y mecánica del diseño. De esta forma resultará muy sencillo comprender porque se ha optado por realizar este diseño con las características que se observan.

Finalmente, se justificará el diseño realizado respecto a los requisitos y especificaciones técnicas del diseño.

8.1. Parte electrónica

En este apartado se llevará a cabo una descripción en detalle de toda la electrónica que se ha seleccionado y que forma parte del presente diseño. En primer lugar, se tratarán

todos aquellos fundamentos teóricos necesarios para comprender mejor la solución escogida respecto a las distintas soluciones disponibles (en algunos casos).

8.1.1. Fundamentos teóricos

8.1.1.1. Motores paso a paso

Como se observa en el capítulo de cálculos iniciales o de selección de los husillos del presente proyecto, los motores asociados a estos equipos de mecanizado vienen implícitos en la selección de éstos. Sin embargo, en el caso del desplazamiento de los husillos hasta la posición de operación en el espacio de trabajo (donde se emplean las guías con el sistema de tornillo sin fin), se ha optado por una tipología de motores que se conoce como motores paso a paso o motor de pasos.

Las razones para haber escogido un motor de pasos frente a un servomotor o un motor de corriente continua o de corriente alterna son las siguientes:

- Un servomotor tiende a fijarse en una posición y a mantenerse ahí, aunque una fuerza externa le empuje. Los servomotores no giran libremente como un motor de corriente estándar, sino que el ángulo de rotación está limitado a 180 grados o a 360 grados en algunos casos. Se conciben para aplicaciones como el control del timón de un barco o un brazo robótico.
- Los motores de corriente continua están concebidos para aplicaciones donde es necesario un giro a altas revoluciones. En esta tipología de motores, resulta complicado obtener una realimentación que indique cuanto se ha movido. Se utilizan habitualmente en aplicaciones como ventiladores, secadores, etc.
- Los motores de corriente alterna tienen un funcionamiento similar a los de corriente continua. Además, debido a las características de la corriente alterna permiten obtener motores de mayor potencia. De hecho, los husillos que se van a emplear para realizar las operaciones de mecanizado en la superficie del armario eléctrico pertenecen a esta tipología.

La forma de tener la certeza de que se controla con precisión el movimiento de un motor eléctrico es la utilización de un sistema para tal fin y aquí es donde aparecen los motores paso a paso o de pasos. Este motor es similar a los motores de continua que se han

descrito anteriormente. Sin embargo, en este caso se monta un sistema de bobinas que garantizan que solo se mueve la distancia (o paso) entre las bobinas contiguas. Así mismo, también se puede conseguir el giro de forma continuada controlando cuidadosamente la alimentación de los grupos de bobinas que fuerzan el movimiento de un paso y la secuencia de alimentación de las bobinas.

Los motores de pasos requieren un circuito de control externo o microcontrolador además del Arduino, Smoothieboard o dispositivo similar que controla su movimiento en automático. En definitiva, un motor de pasos tiene las siguientes ventajas para el control del posicionamiento en x, y, z del dispositivo de mecanizado del presente proyecto:

- Es posible posicionar el dispositivo de mecanizado con mucha precisión empleando un sencillo control digital.
- Ideal para máquinas de control numérico o robots ya que se puede sincronizar su movimiento, velocidad y aceleración con gran facilidad.
- El máximo par motor se da a muy bajas revoluciones.

8.1.1.2. Control de los motores paso a paso

Como se ha podido observar en el apartado anterior, es muy habitual emplear motores paso a paso con un control digital asociado. Sin embargo, existen diversos elementos electrónicos con los que se puede realizar el control de dichos motores. A continuación, se expondrá la tipología del elemento o elementos que se han seleccionado para realizar el control de los motores que permitirán colocar los cabezales de mecanizado en la posición necesaria.

Con una búsqueda rápida en internet se puede encontrar multitud de aplicaciones en las que se usa Arduino para controlar los motores a pasos. Sin embargo, optar por esta solución sin analizar los pros y contras sería una decisión muy precipitada. En el mercado también existen soluciones como por ejemplo la utilización de una Smoothieboard o una Raspberry PI.

En primer lugar, se debe tener en cuenta que, a diferencia del resto, la Raspberry PI funciona como un “mini ordenador”, es decir, tiene muchas más funcionalidades que tiene un Arduino o una Smoothieboard ya que éstos son microcontroladores. Sin embargo, esta característica que puede ser una ventaja para algunas soluciones es un inconveniente para el

presente proyecto ya que se busca una respuesta inmediata. Antes de ejecutar la acción para la que ha sido programada, la Raspberry Pi debe cargar el sistema operativo con la consiguiente pérdida de tiempo. El Arduino o la Smoothieboard empezarán a ejecutar la tarea para la que han sido programados (mediante el código que ha sido cargado) una vez que hayan sido enchufadas.

En segundo lugar, respecto a los microcontroladores Arduino y Smoothieboard, el primero no tiene una velocidad de ejecución elevada (aproximadamente 1MHz). Sin embargo, la Smoothieboard llega a 16 MHz, por lo que los pulsos de frecuencia están en el orden de microsegundos. En caso del Arduino, la programación es más sencilla e inmediata. Adicionalmente, se debe tener en cuenta la diferencia de coste entre un Arduino y la placa Smoothieboard, siendo considerablemente más alto en el segundo caso.

En definitiva, el tándem Arduino empleando G-Code es una solución tan aceptable como el uso del Smoothieboard. Sin embargo, si se realiza un prototipo a partir de las pautas que se recogen en el presente documento sería recomendable el uso del Arduino, teniendo en cuenta el coste y que no existe una necesidad que requiera una respuesta tan inmediata ya que no es un equipo destinado a producción.

Para el diseño que se recoge en la memoria del presente proyecto donde se busca disminuir los tiempos de mecanizado del armario eléctrico y como un posible equipo de mecanizado a comercializar, se recomienda el uso de la placa Smoothieboard debido a las limitaciones del Arduino comentadas en el presente apartado.

8.1.2. Componentes electrónicos seleccionados

A lo largo de este apartado se describirán en detalle los componentes electrónicos seleccionados para la realización del prototipo que se ha desarrollado para el presente proyecto. Se debe tener en cuenta que, para una producción en serie del diseño desarrollado, será necesario contactar con fabricantes de motores, somoothieboards, etc. Esto es debido a la necesidad de emplear componentes confiables con mayor calidad, fiabilidad y durabilidad.

8.1.2.1. Motores paso a paso para el desplazamiento respecto al eje x e y

Debido a la complejidad y gran cantidad de factores que influyen en el cálculo del mínimo par motor necesario para la solución, se ha recurrido a sobredimensionar el motor

seleccionado teniendo en cuenta otros dispositivos similares. Los fabricantes recomiendan los siguientes valores de par mínimo dependiendo de la aplicación:

- Entre 28 y 40 Ncm para aplicaciones de carga ligera.
- Entre 40 y 50 Ncm para aplicaciones de carga media.
- A partir de 50 Ncm para aplicaciones de carga pesada.

Recurriendo a los datos extraídos de otras máquinas de control numérico elaboradas no industrialmente, se ha observado que se recurre a un Nema 17 o Nema 23. En este caso y debido a que la carga a mover será de aproximadamente 10 Kg, se ha seleccionado el Nema 23. Sin embargo, como se verá en el próximo apartado, para el movimiento de los husillos se puede recurrir a un tamaño (par máximo) inferior.

En la siguiente imagen (fig. 8.2), se observa el motor de pasos seleccionado para el desplazamiento del husillo respecto al eje x y eje y.



Figura 8.2- Motor de pasos Nema 23.

En la imagen anterior (fig. 8.2), se observa el motor de pasos seleccionado. Entre sus principales características destacan los 1,9 Nm de par (190 Ncm). Además, el ángulo entre pasos es de 1,8 °. A partir del control mediante el driver que limita la corriente que circula por el motor y un Arduino, se podrá controlar la posición del cabezal de acuerdo con las coordenadas definidas por el programa que procese el plano CAD objetivo.

8.1.2.2. Motores paso a paso para el desplazamiento respecto al eje z

En la siguiente imagen (fig. 8.3), se observa el motor de pasos seleccionado para el desplazamiento del husillo respecto al eje z.



Figura 8.3- Motor de pasos Nema 17, 4118 Series.

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 8.3), este motor es considerablemente más pequeño que el seleccionado para el desplazamiento del eje x y eje y. Entre las principales características de este motor destaca los 0,81 Nm de par. Además, el ángulo entre pasos es de 1,8 °. Se ha mantenido el mismo ángulo entre pasos para que la programación del control sea idéntica para todos los ejes. Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 8.1), los husillos que se describen en el presente apartado deberán desplazarse a lo largo del tornillo sin fin, definiendo su posición vertical. Debido a la necesidad de mantener un bajo peso de la estructura portante de los husillos y a que no existe necesidad de motores con mayor potencia para esta función, se han seleccionado los motores de pasos Nema 17, 4118 Series.

8.1.3. Diseño del control en el prototipo

Como se ha comentado anteriormente, para el control del prototipo se empleará un Arduino, concretamente el Arduino MEGA ya que sería necesario controlar tres motores para el desplazamiento de los husillos, la sensorización del movimiento a lo largo de los ejes y el encendido de uno o dos husillos. Además, también se emplearán controladores (uno por motor) o drivers que simplifican el manejo de los motores desde el procesador. Otro valor añadido de la utilización de un driver es la técnica “*microstepping*” que permite obtener pasos o precisiones menores a la del paso nominal de los motores. Entre los drivers más comunes para los motores seleccionados destacan el DRV8825, que corresponde a la versión mejorada del A4988 usado en multitud de proyectos.

En la siguiente imagen (fig. 8.4), se observa el conexionado entre el Arduino MEGA, el driver DRV8825 y uno de los motores paso a paso seleccionados.

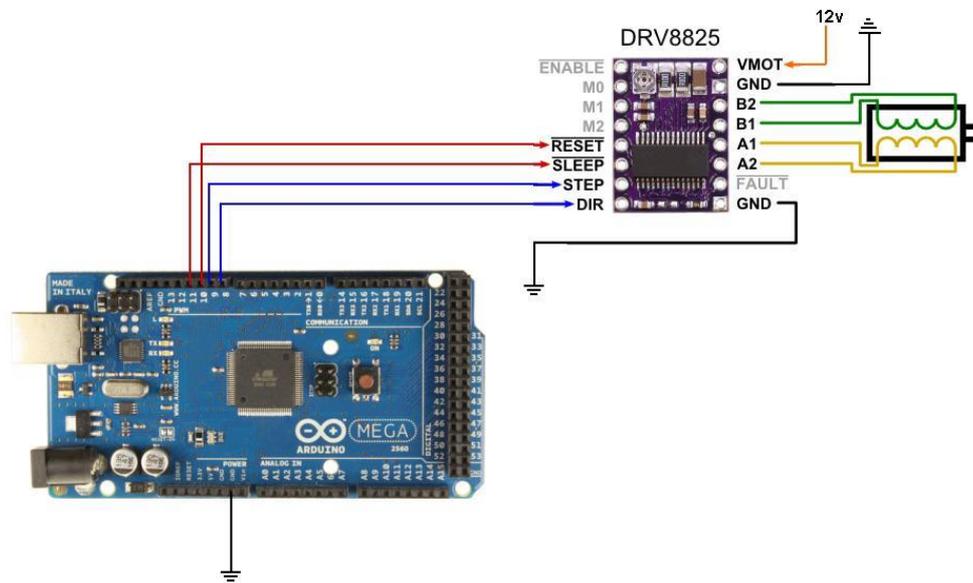


Figura 8.4- Conexión Arduino MEGA – DRV8825 – Motor paso a paso.

En la imagen anterior (fig. 8.4), se observa el conexionado necesario para el control de uno de los motores. En cuanto al resto de motores que gobiernan los ejes de desplazamiento, debería realizarse un conexionado similar utilizando el resto de los pines disponibles del Arduino. Una vez conectados y montados sobre el dispositivo, será necesario calibrar los motores para posicionar el husillo en el lugar deseado. Además, para mejorar la precisión se emplearán sensores de proximidad como el que se muestra en la siguiente imagen (fig.8.5).

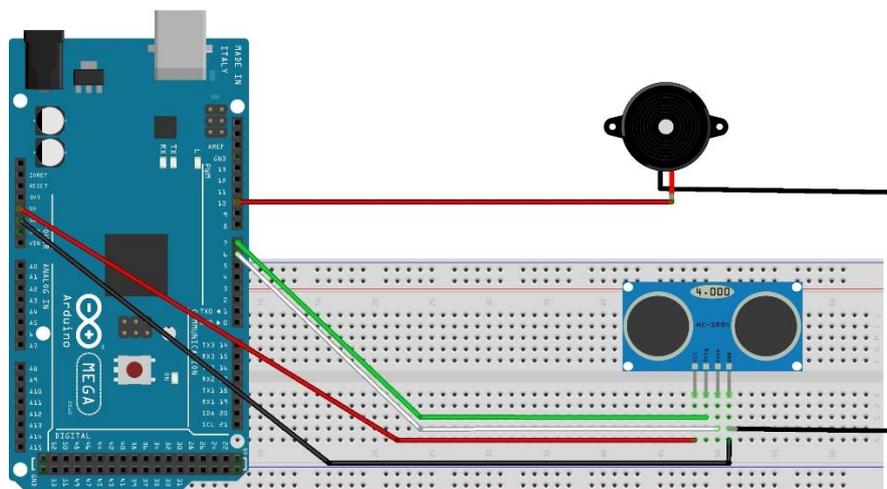


Figura 8.5- Conexión Arduino MEGA – Sensor de proximidad.

En la imagen anterior (fig. 8.5), se observa la conexión del Arduino MEGA con el sensor de proximidad. Una vez conectado y montado sobre el dispositivo, se debería comprobar si el alcance es suficiente en todos los ejes. En caso contrario, se deberá sustituir el componente por un sensor laser con mayor alcance (pero también mayor coste).

Por último, se debería habilitar pines en el Arduino para la conexión del husillo (los husillos), de esta forma se podría controlar el sentido de giro, la velocidad de giro y el apagado o encendido de éstos. Adicionalmente, podría ser necesario habilitar unas conexiones para unos dispositivos que gestionen el posicionamiento manual del husillo (o husillos) a lo largo del eje x, eje y y eje z. Esta operativa será necesaria para indicar al programa el punto de inicio. Dicho punto (o cero) corresponderá con el indicado en el interfaz de usuario.

8.2. Parte mecánica

En el presente apartado se realizará una descripción de las partes mecánicas con más importancia del presente diseño. Cabe destacar el sistema de fijación empleado para posicionar y fijar la estructura del equipo de mecanizado portátil sobre el armario eléctrico. Se detallará el mecanismo y los componentes empleados para el desplazamiento de los husillos en el eje x, y, z. Por otro lado, se detallará el sistema de guías empleado para desplazar la estructura superior y la estructura de los husillos respecto a la correspondiente estructura base. Finalmente, se aportarán detalles sobre el espacio de trabajo, prestaciones obtenidas y se comentarán los resultados obtenidos sobre el cálculo de esfuerzos mediante el método de elementos finitos.

En la siguiente imagen (fig. 8.6), se muestra una vista isométrica del sistema de mecanizado portátil dónde se observan todos los componentes que serán detallados en los próximos sub-apartados.

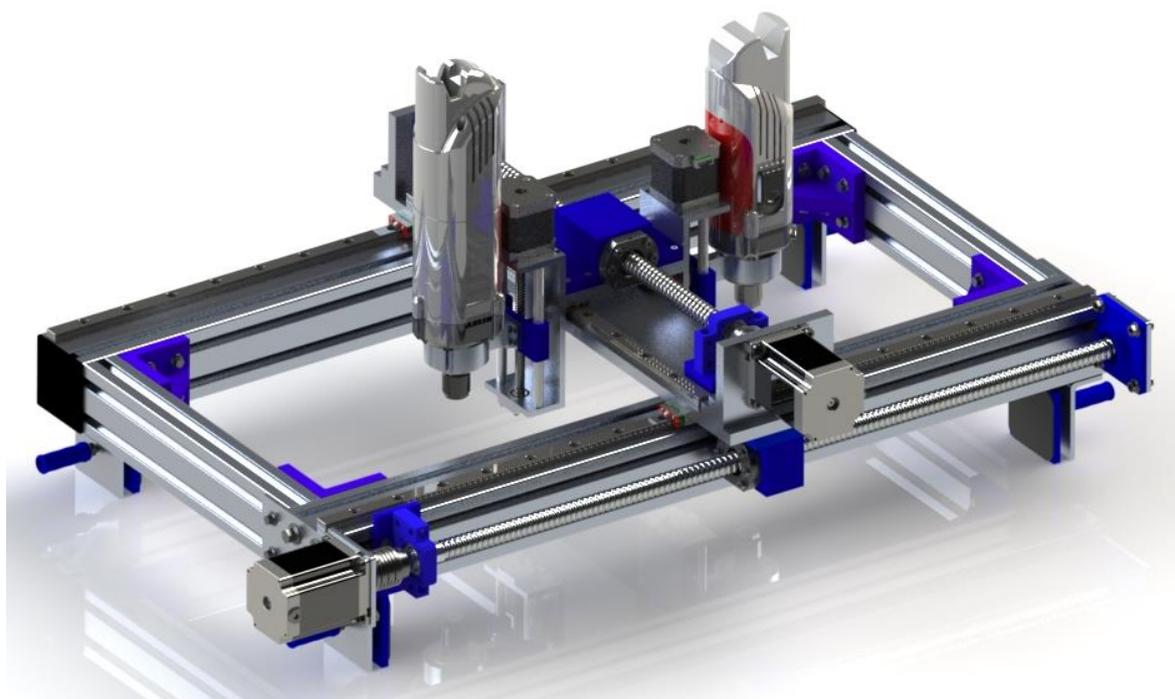


Figura 8.6- Sistema de mecanizado portátil.

8.2.1. Fijación a la superficie del armario eléctrico

En la siguiente imagen (fig. 8.7), se muestra el diseño empleado para posicionar, fijar y sujetar el sistema de mecanizado portátil sobre la cara a mecanizar del armario eléctrico. Como se puede observar, se ha tomado como referencia una tipología de mecanismo como la que se emplea en un tornillo de presión, realizando un diseño similar que permita obtener la misma funcionalidad.

El diseño de la fijación está formado por una pieza de aluminio plegada a 90 grados a la que se ha soldado un nervio para mejorar la rigidez. La fuerza ejercida por el usuario para apretar el tornillo de presión contra el armario eléctrico no será suficiente para producir daños en la pieza base con forma de L de 4 mm de espesor. Sin embargo, se ha diseñado con este nervio para evitar que se doble por golpes o impactos.

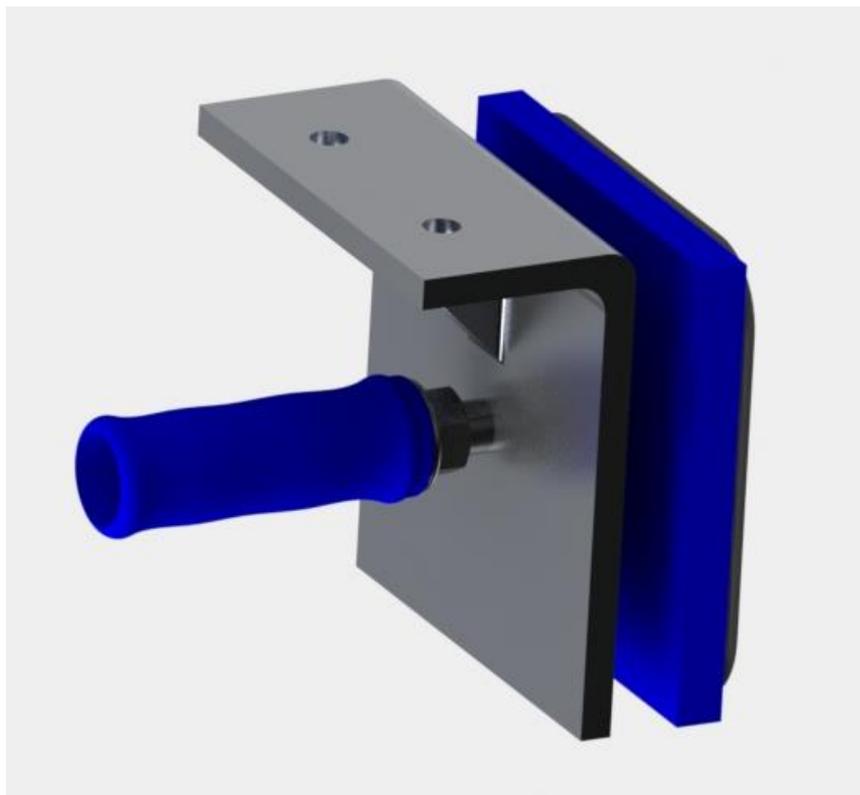


Figura 8.7- Fijación del sistema de mecanizado portátil al armario eléctrico.

En la imagen anterior (fig. 8.7), también se observa una pieza cuadrada de 6 mm en ABS sobre la que pivota el tornillo de presión. A dicha pieza se le ha adherido una pequeña placa de goma para evitar rallar o marcar la superficie del armario eléctrico. El mango del tornillo de presión en ABS facilita la actuación del usuario.

A continuación, se resumen los procesos de fabricación empleados en el presente diseño expuesto:

- Para la pieza base en L, se propone cortar con una sierra o similar un perfil en L de aluminio. Habitualmente se emplea oxicorte para realizar estos cortes en este material y posteriormente se debe realizar un plegado. Sin embargo, se desaconseja utilizar este proceso de fabricación debido al espesor de 4 mm. Por último, se finalizará la operación matando las esquinas.
- Tanto en mango como la pieza sobre la que pivota el tornillo de presión, se han diseñado en ABS para poder realizarse mediante impresión 3D, reduciéndose así notablemente los costes.

- El tornillo de presión se realizará mecanizando una varilla de acero de aproximadamente 7 mm para obtener un tornillo de métrica M6. Una parte del tornillo (no roscado) se pegará al mango en ABS. La otra parte del tornillo se soldará térmicamente a una semiesfera para pivotar sobre la otra pieza de ABS.

8.2.2. Desplazamiento respecto al eje x

En la siguiente imagen (fig. 8.8), se observa el tornillo sin fin cuya rotación es producida por un motor de pasos. El desplazamiento lineal se produce mediante una tuerca que se desliza por éste cuando el tornillo sin fin rota.



Figura 8.8- Tornillo sin fin para el desplazamiento en x.

En la imagen anterior (fig. 8.8), se observa el motor de pasos descrito en el apartado asociado a los componentes electrónicos empleados en el presente proyecto. Para realizar la unión entre el motor y el tornillo sin fin, se ha optado por emplear un acoplamiento de pequeñas dimensiones. El acoplamiento del fabricante “Guardiancouplings” permite la unión axial entre el eje del motor y el eje del tornillo sin fin, admitiendo ligeros desalineamientos axiales. Adicionalmente, el acoplamiento puede absorber pequeños desalineamientos radiales.

En la siguiente imagen (fig. 8.9), se muestra el CAD del acoplamiento axial del fabricante “Guardiancouplings”.



Figura 8.9- Acoplamiento axial

En la imagen anterior (fig. 8.9), se muestra el acoplamiento axial. En un extremo permite la entrada del eje del motor de 3 mm de diámetro y en el otro extremo el eje del tornillo sin fin de 5 mm de diámetro. La fijación de los ejes se realiza empleando chavetas atornilladas al acoplamiento axial. Por otro lado, se debe fresar en los ejes una pequeña zona plana para que la chaveta descansa en posición óptima.

En la imagen previa (fig. 8.8), se observa que el tornillo sin fin rota fijado a dos rodamientos situados en los extremos de éste. La función que realizan es la de servir de apoyo y liberar al mecanismo del peso provocado por la bancada o base donde se colocan los husillos. Además, evitan que el motor fijado axialmente al tornillo sin fin sufra algún daño durante el funcionamiento y que el tornillo sin fin no esté en voladizo en ninguna parte de su longitud.

En la siguiente imagen (fig. 8.10), se observa el rodamiento (junto con su alojamiento) que se sitúa más cercano al motor. Respecto a este rodamiento y su alojamiento, cabe destacar que va fijado a la estructura base del diseño empleando tuercas de anclaje a los perfiles “Bosch Rexroth”. Tuercas que son comúnmente conocidas como “de martillo”.

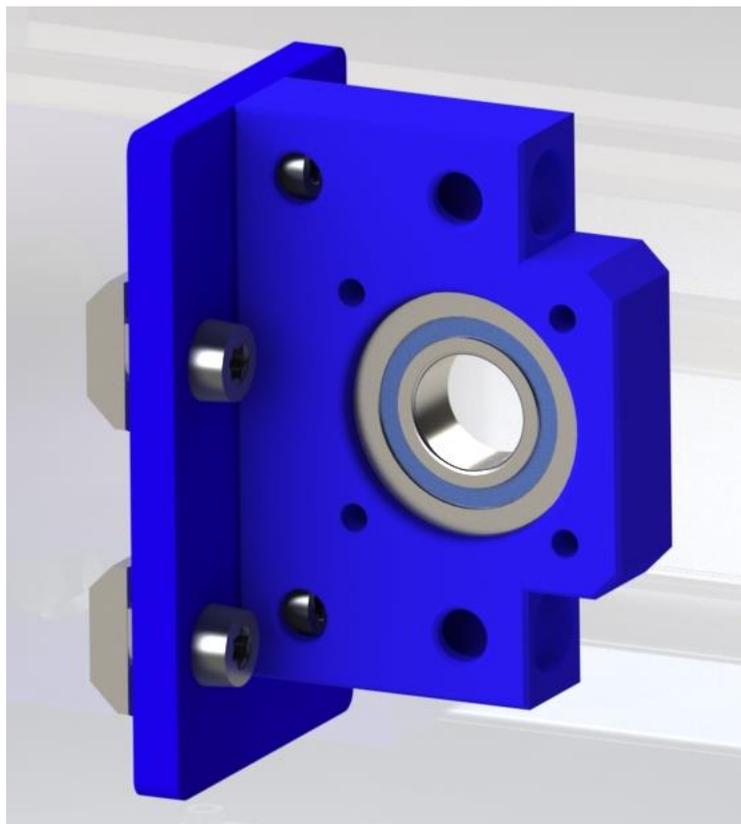


Figura 8.10- Rodamiento y alojamiento (intermedio).

En la imagen anterior (fig. 8.10), se observa un rodamiento de bolas a rótula del fabricante SKF. El rodamiento tiene un diámetro de 12 mm para fijar por apriete el eje del tornillo sin fin y 26 mm para fijar por apriete el propio rodamiento al alojamiento de la imagen. Las dos piezas empleadas para fijar y posicionar el rodamiento a la estructura se han diseñado en ABS y se fijaran mediante tornillos con tuerca “de martillo” a los perfiles del fabricante “Bosch Rexroth”. Cabe destacar que los agujeros que se observan en esas piezas deben mecanizarse una vez finalizado el proceso de impresión 3D de las mismas.

En la siguiente imagen (fig. 8.11), se observa el rodamiento (junto con su alojamiento) que se sitúa en el extremo del tornillo sin fin. Este conjunto se fija a un soporte en aluminio que a su vez va atornillado a los perfiles estructurales. El rodamiento de bolas a rótula es el mismo que se observa es el mismo que se ha descrito anteriormente. El alojamiento de dicho rodamiento se ha diseñado en ABS para ser fabricado por impresión 3D. Una vez obtenida la pieza por este proceso, se deberá mecanizar el alojamiento del rodamiento fresando la cavidad.

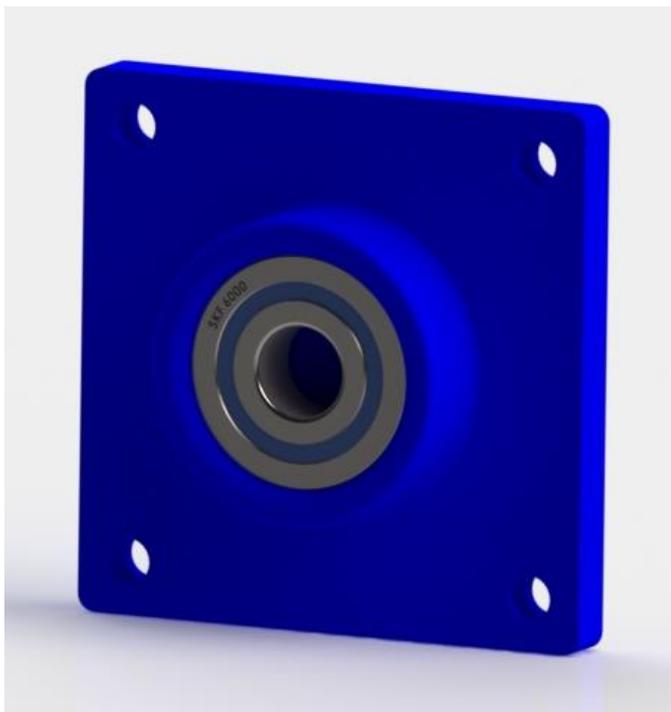


Figura 8.11- Rodamiento y alojamiento (extremo).

En la imagen anterior (fig. 8.11), se observa el alojamiento diseñado junto con el rodamiento fijado en su interior por apriete.

Respecto a la tuerca y tornillo sin fin, se ha optado por emplear elementos comerciales. La razón reside en la complejidad del diseño de estos elementos. El fabricante “Machinet” ofrece en su catálogo de la tipología SFU un tornillo sin fin de 16 mm de diámetro con un paso de 5 mm. La tuerca de bolas recirculantes soporta 780 Kgf en carga dinámica y 1790 Kgf en carga estática. A pesar de no poder realizarse cálculos (reales) que justifiquen la elección, en dispositivos como fresadoras caseras de peso 2 o 3 veces mayor en la base de los husillos, se emplea esta referencia de tornillo – tuerca con estos parámetros de funcionamiento. Adicionalmente, se ha dejado margen para sobredimensionar estos componentes si fuera necesario.

En la siguiente imagen (fig. 8.12) se observa la representación de la transmisión mediante tornillo sin fin y tuerca de bolas con la que se consigue el desplazamiento a lo largo del eje x de la base o bancada donde se han colocado los husillos.

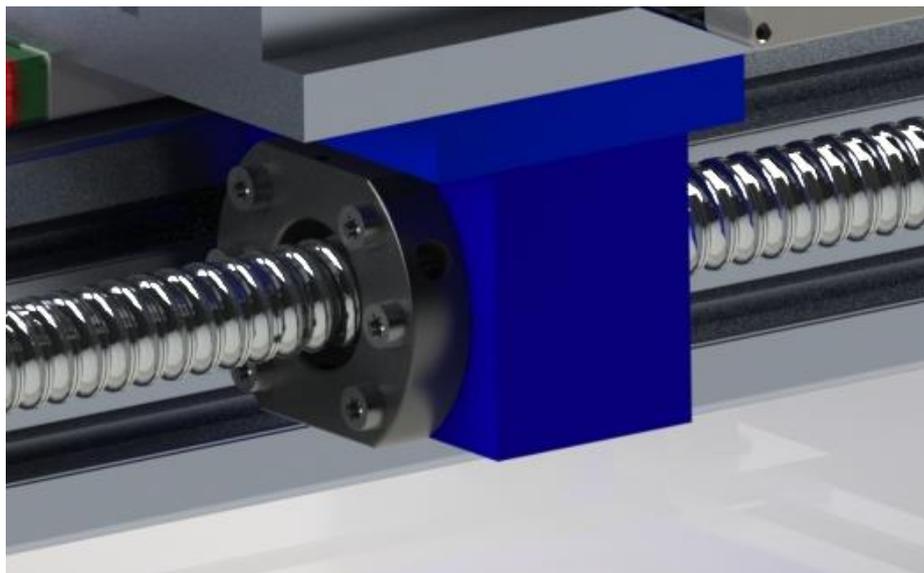


Figura 8.12- Rodamiento y alojamiento (extremo).

Como se puede observar en la imagen anterior (fig. 8.12), la tuerca de la transmisión lineal se fija mediante tornillos a una pieza en ABS. Dicho elemento, se une con la base o estructura donde se encuentran los husillos mediante un asiento en este mismo material. Cabe destacar, que al igual que en elementos en ABS mostrados anteriormente, se utilizará la impresión 3D para mecanizar dichas piezas.

8.2.3. Desplazamiento respecto al eje y

En la siguiente imagen (fig. 8.13), se observa el tornillo sin fin cuya rotación es producida por un motor de pasos. El desplazamiento lineal se produce mediante una tuerca que se desplaza por éste cuando el tornillo sin fin rota.

Como se ha podido observar en el apartado dedicado a la selección de la electrónica y por tanto, a la elección de los motores paso a paso, se ha seleccionado el mismo motor para producir la rotación del tornillo sin fin que habilita el desplazamiento respecto al eje x y respecto al eje y de la estructura portante de los husillos. Debido a que el tornillo sin fin empleado es el mismo para el desplazamiento respecto al eje x y eje y, éste se ha diseñado asociado al mismo acoplamiento axial y a los mismos rodamientos que se han descrito en el apartado anterior.

La única diferencia entre ambos sistemas de transmisión reside en la longitud de los tornillos sin fin y a la fijación de la tuerca de bolas recirculantes.

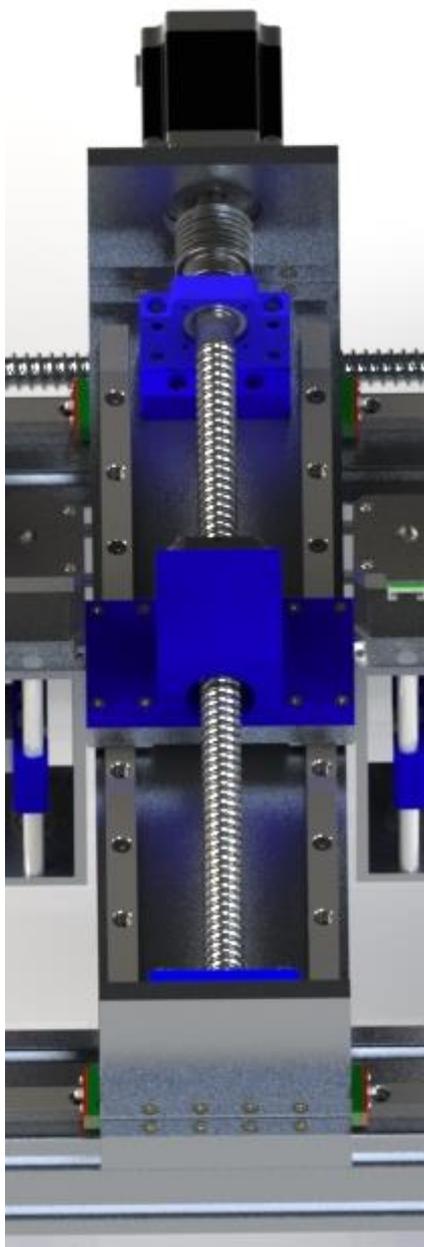


Figura 8.13- Tornillo sin fin para el desplazamiento en y.

En la imagen anterior (fig. 8.13), se observa el tornillo sin fin para el desplazamiento de la estructura portante de los husillos respecto al eje y. Como se ha comentado anteriormente, en este caso la longitud del tornillo sin fin es de aproximadamente 400 mm lo que permite el desplazamiento a lo largo de la mitad de la altura máxima admisible del armario eléctrico (800 mm). Sin embargo, respecto al tornillo sin fin asociado al eje x, su longitud es de aproximadamente 650 mm lo que permite el desplazamiento a lo largo de los 600 mm de ancho máximo admisible para el armario eléctrico.

En la siguiente imagen (fig. 8.14), se observa la pieza que se ha diseñado en ABS para la fijación de la tuerca de bolas recirculantes. Al igual que en anteriores piezas de este material, el proceso de fabricación empleado será la impresión 3D.

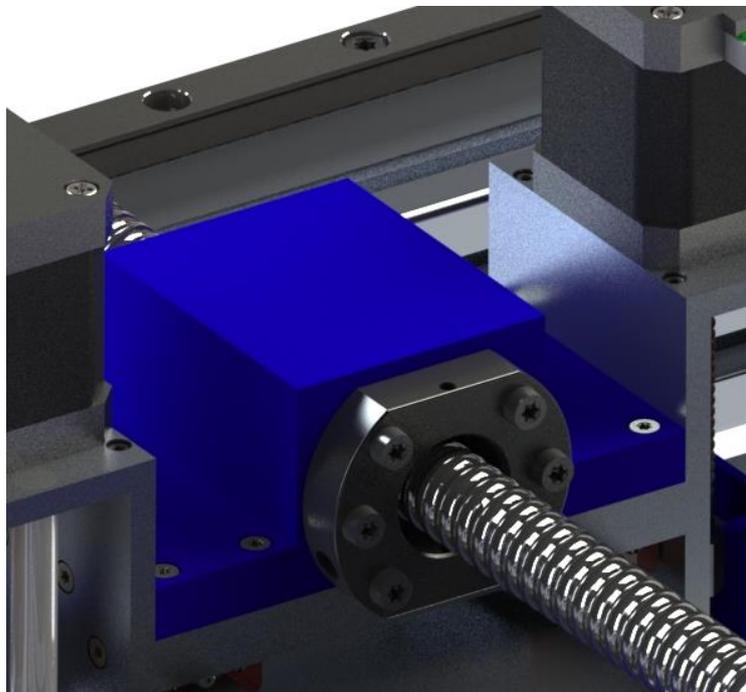


Figura 8.14- Tuerca fijada a la pieza diseñada.

En la imagen anterior (fig. 8.14), se observa la pieza fijada con tornillos a la estructura que se desplaza por las guías lineales que serán detalladas en próximos apartados. La tuerca de bolas recirculantes se asegurará mediante tornillos a dicha pieza.

8.2.4. Desplazamiento respecto al eje z

En la siguiente imagen (fig. 8.15), se observa uno de los husillos situado sobre el mecanismo que permite que se desplace respecto al eje z. El desplazamiento lineal se produce mediante una tuerca que se desplaza por éste cuando el tornillo sin fin rota.



Figura 8.15- Tornillo sin fin para el desplazamiento en z.

En la imagen anterior (fig. 8.15), se observa el sistema de transmisión empleado mediante tornillo sin fin. En este caso, se ha diseñado un sistema más compacto ya que la masa a desplazar es mucho menor (1,5 Kg). Respecto a este sistema, cabe destacar que se ha prescindido del acoplamiento y del rodamiento intermedio que se utilizaba en el eje x y eje y. La razón reside en la poca longitud del tornillo sin fin y como se ha comentado anteriormente, la poca masa a desplazar.

En la siguiente imagen (fig.8.16), se observa el rodamiento que se sitúa en el extremo del tornillo sin fin.

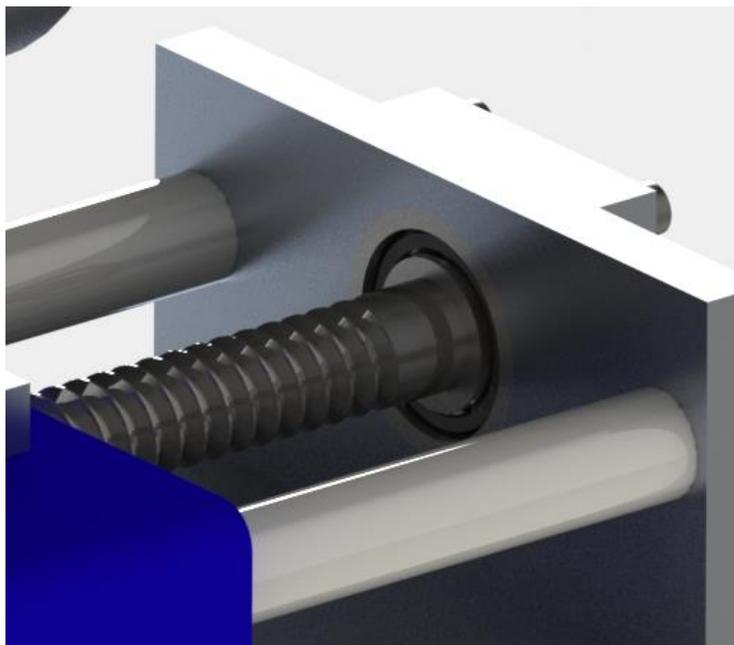


Figura 8.16- Rodamiento situado en el extremo del eje z.

En la imagen anterior (fig. 8.16), se observa un rodamiento de bolas a rótula del fabricante SKF. El rodamiento tiene un diámetro de 8 mm para fijar por apriete el eje del tornillo sin fin y 18 mm para fijar por apriete el propio rodamiento al alojamiento de la imagen. En este caso, el rodamiento se fija o encastra en un agujero situado en el propio extremo del soporte de aluminio. Una pieza de aluminio situada en la parte trasera de este soporte y asegurada con tornillos se encarga de mantener el rodamiento en su posición evitando que se mueva debido a esfuerzos axiales. En la siguiente imagen (fig. 8.17), se observa dicha pieza.



Figura 8.17- Pieza de refuerzo en el extremo.

Respecto a la tuerca y tornillo sin fin, se ha optado por emplear elementos comerciales. La razón reside en la complejidad del diseño de estos elementos. El fabricante “NSK” ofrece en su catálogo de la serie FSS tornillos sin fin compactos de pequeñas dimensiones ideales para esta aplicación. El tornillo sin fin de 8 mm de diámetro se caracteriza por el ajuste, la alta precisión y la baja rumorosidad. Las capacidades de esta tuerca de pequeñas dimensiones son considerablemente inferiores a las de la tuerca de bolas recirculantes del tornillo sin fin para el desplazamiento en el eje x y eje y. La tuerca este fabricante soporta 450 Kgf en carga dinámica y 1210 Kgf en carga estática.

En la siguiente imagen (fig. 8.18), se observa la transmisión empleada para el desplazamiento de los husillos a lo largo del eje z.

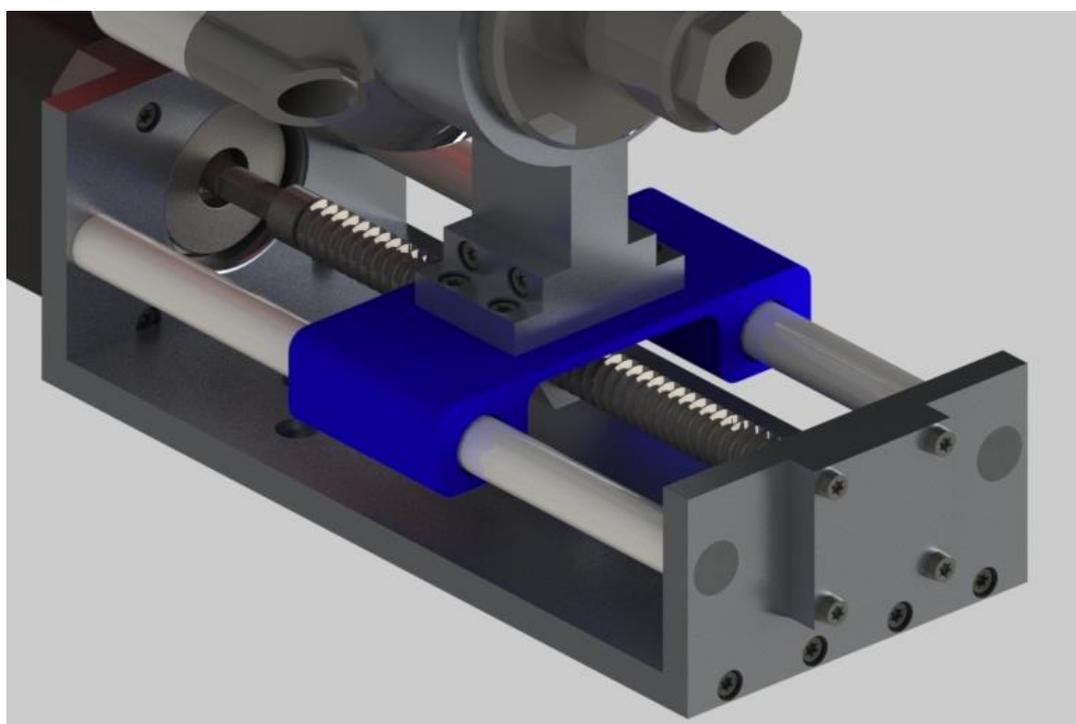


Figura 8.18- Trasmisión empleada para el desplazamiento del eje z.

En la imagen anterior (fig. 8.18), se observa el tornillo sin fin de aproximadamente 100 mm, lo que permite ajustar la profundidad de la operación en un rango de 60 mm. En la imagen también se observa la base de ABS sobre la que se ancla el husillo empleando una abrazadera de aluminio. Como se puede observar, las guías empleadas en este caso son cilíndricas y penetran a través de la corredera previamente lubricada y dotada de cierta holgura. La razón por la que se han empleado este tipo de guías ha sido la necesidad de

reducir las dimensiones del soporte del husillo para maximizar el espacio de trabajo disponible.

En la siguiente imagen (fig. 8.19), se observan la corredera y la abrazadera para el anclaje del husillo con más detalle.

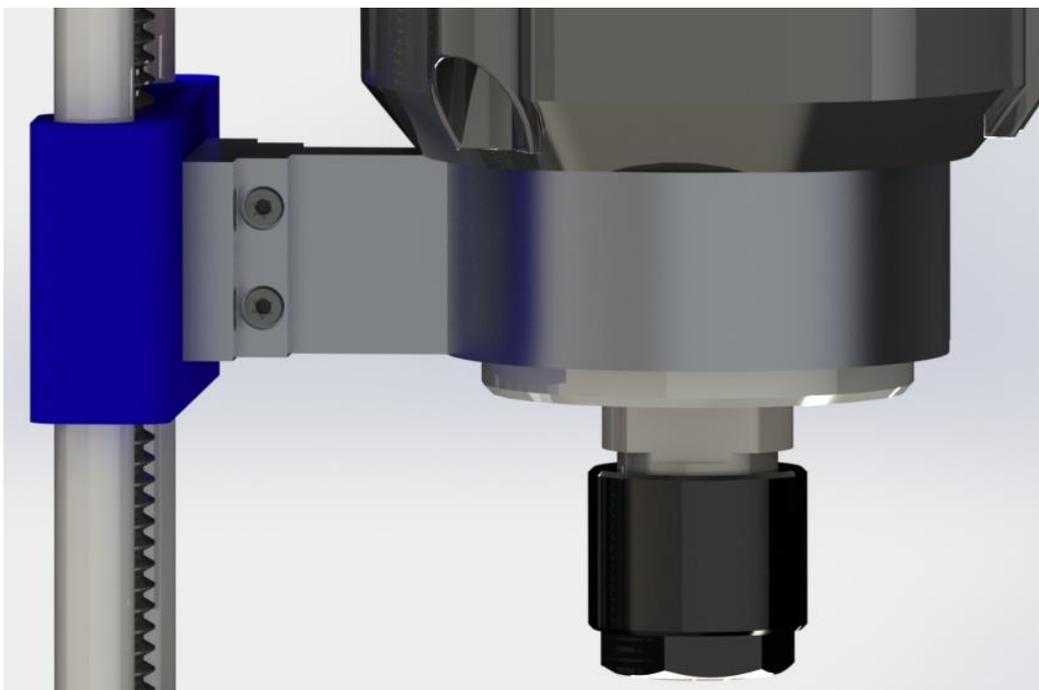


Figura 8.19- Abrazadera y corredera.

En la imagen anterior (fig. 8.19), se observa la corredera de ABS. Al igual que en el caso de los anteriores diseños, la corredera de ABS se fabricará mediante impresión 3D. En el caso de la abrazadera de aluminio, será necesario mecanizar una serie de piezas y soldarlas hasta obtener el diseño que se observa en la imagen. Mediante dicho elemento será posible anclar ambos husillos a la estructura del diseño.

8.2.5. Sistema de guías lineales

En la siguiente imagen (fig. 8.20), se observa la guía que se emplea para el desplazamiento de la estructura a lo largo del eje x y eje y. Las guías lineales del fabricante “Hiwin” y en concreto el modelo “MGN 12h” que se ha empleado en este diseño, soporta 3800 N en carga dinámica y 6000 N en carga estática. Por tanto, es perfectamente válido para el presente diseño. Por otro lado, esta tipología de guía se observa en multitud de diseños de fresadoras caseras por control numérico, siendo el peso 4 o 5 veces mayor que en el presente diseño.

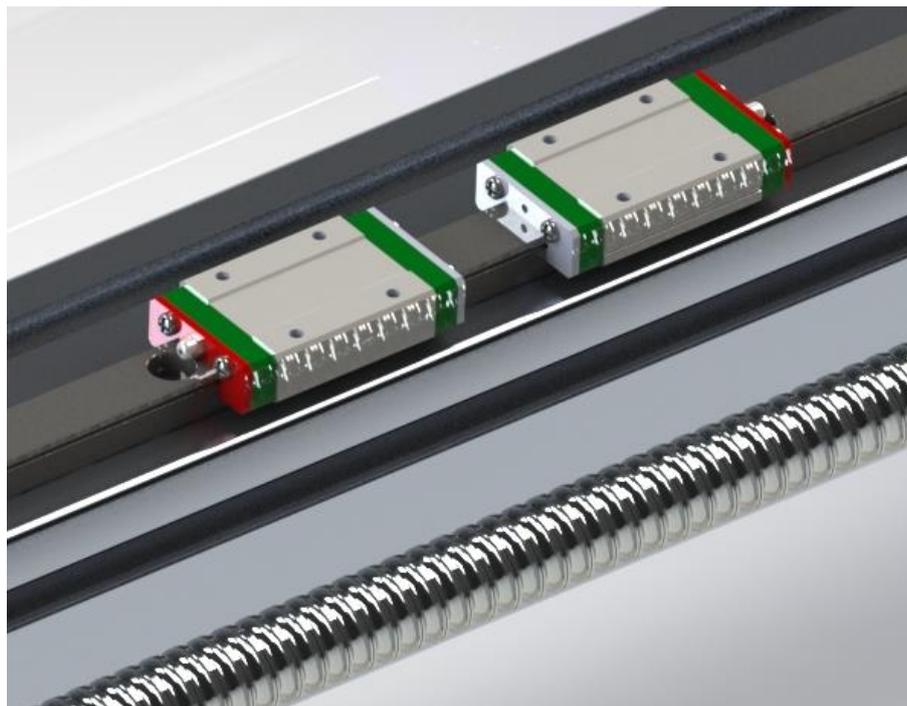


Figura 8.20- Guía lineal Eje X y Eje Y.

En la imagen anterior (fig. 8.20), se observan los elementos que se deslizan sobre las guías lineales. Dichos soportes se caracterizan por emplear bolas como rodamiento para facilitar el movimiento relativo entre los elementos que conforman la guía lineal. En la siguiente imagen (fig. 8.21), se observa un esquema de la guía lineal empleada.

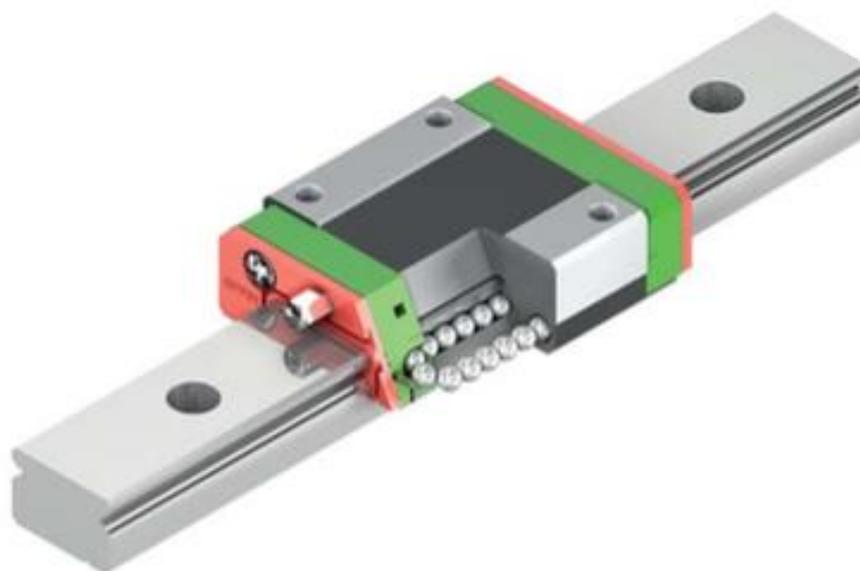


Figura 8.21- Esquema de la guía lineal Hiwin MGN 12h.

8.2.6. Espacio de trabajo obtenido

Como se puede observar a lo largo de los anteriores apartados y en la imagen anterior (fig. 8.7), el espacio de trabajo está condicionado por la presencia de dos husillos en el presente diseño. Por tanto, el espacio total de trabajo disponible es de 640 mm en el eje x, 280 mm en el eje y y 60 mm en el eje z. En la siguiente imagen (fig. 8.22), se observa el espacio de trabajo total disponible.

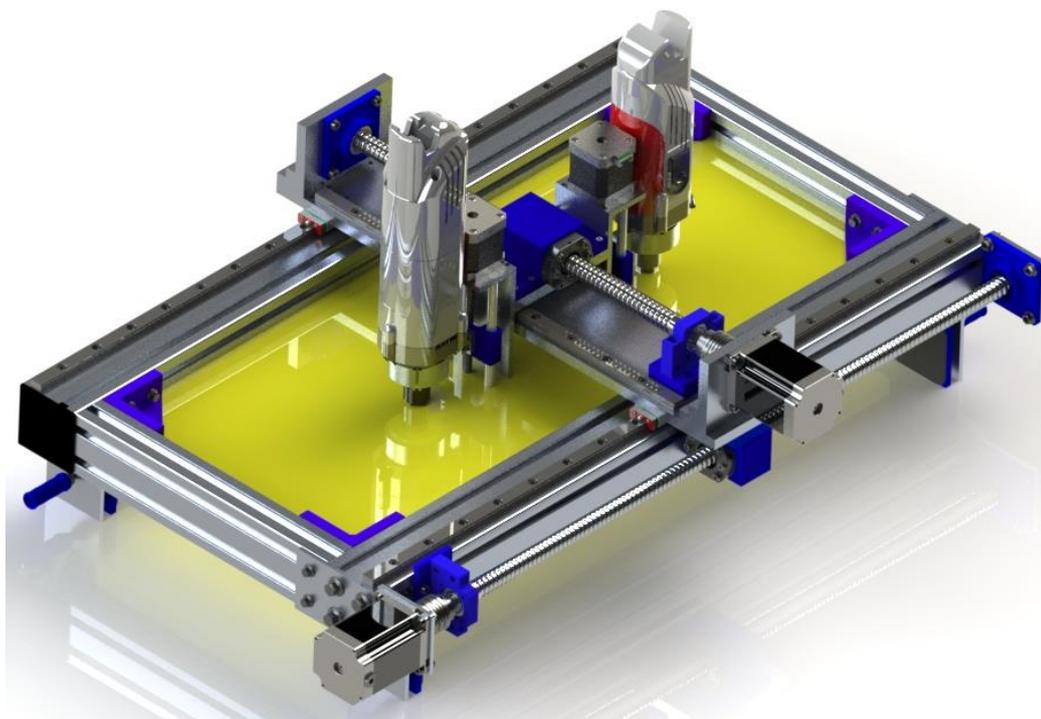


Figura 8.22- Espacio de trabajo total.

En la imagen anterior (fig. 8.22), se observa el espacio de trabajo total disponible en color amarillo. Sin embargo, debido a la presencia de dos husillos en el diseño, el espacio de trabajo se ve comprometido. En la siguiente imagen (fig. 8.23) se observa el espacio de trabajo que se obtiene con la presencia de dos husillos en el diseño. Como se ha comentado anteriormente en la presente memoria (debido a las operaciones de punteado, taladrado de pequeño diámetro) se hace necesario dotar al diseño de un segundo husillo para evitar realizar un cambio de herramienta. Sin embargo y tal como se expresará en detalle en el próximo apartado, realizando una serie de pruebas en el taller, se podría llegar a eliminar el segundo husillo del diseño si se prueba que con un husillo es suficiente. Se debe tener en cuenta que solo es necesario hacer el corte por el borde (como si de recortar una silueta se

tratará) y no se debe realizar toda la operación de cajeado o taladrado que se expresa en los cálculos realizados.

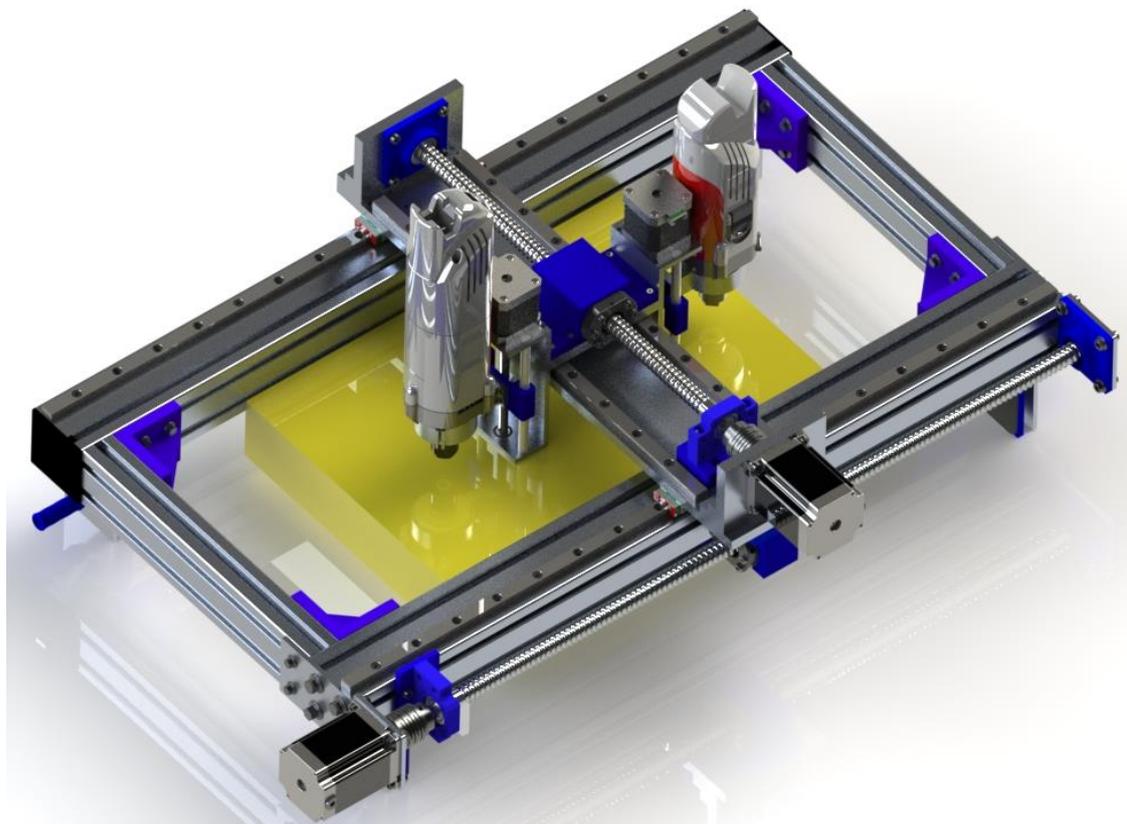


Figura 8.23- Espacio de trabajo reducido.

En definitiva, el espacio de trabajo que se muestra en la imagen anterior (fig.8.23) con las siguientes dimensiones: 375 mm en el eje x, 280 mm en el eje y y 60 mm en el eje z, es el que se obtendría fabricando un prototipo con las características del diseño desarrollado. Sin embargo, realizando unas pruebas de campo y eliminando el husillo adicional, se espera obtener el espacio de trabajo que se ha mostrado en la imagen (fig. 8.22) y que tiene las siguientes dimensiones: 640 mm en el eje x, 280 mm en el eje y y 60 mm en el eje z.

8.2.7. Prestaciones del diseño

En la siguiente imagen (fig. 8.24), se observa el diseño propuesto una vez realizadas las pruebas de campo que demostrarían que solo es necesario emplear un husillo en el prototipo. Esta será la propuesta de diseño más óptima. Sin embargo, debido a que no se sabe con toda certeza si será posible prescindir de uno de los dos husillos, se ha tomado como referencia el diseño que se ha presentado a lo largo de los anteriores apartados del presente capítulo.

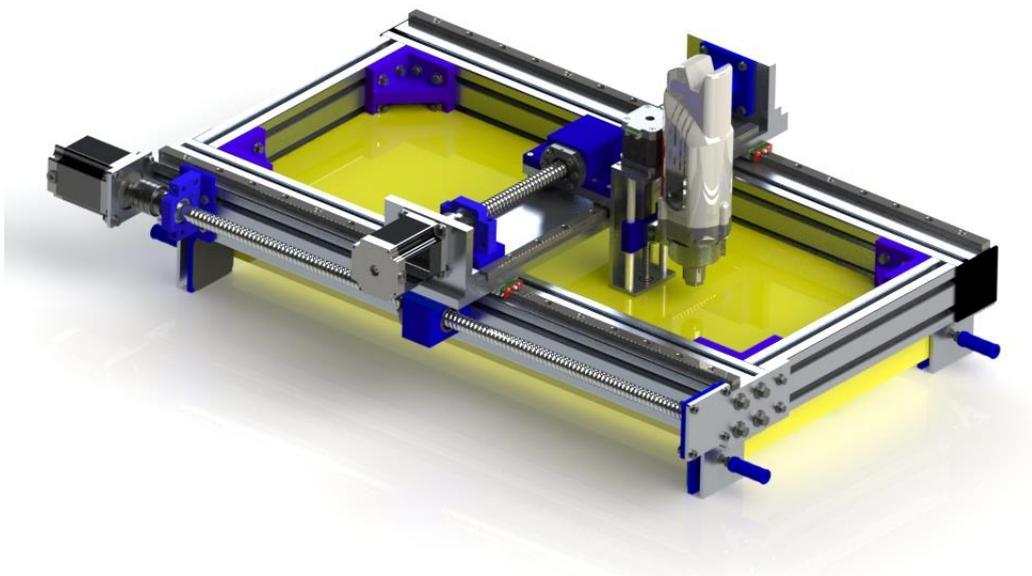


Figura 8.24- Sistema de mecanizado portátil con un solo husillo.

En la imagen anterior (fig. 8.24), se observa el espacio de trabajo del diseño empleando un solo husillo. Como se ha comentado anteriormente, el husillo Kres 530 FM permitirá realizar operaciones de fresado y taladrado ligero. Así mismo, el husillo admite brocas o fresas de hasta 8 mm y con un casquillo especial de entre 2 mm y 6 mm. En definitiva, realizando una serie de pruebas de campo y seleccionando una fresa de 2 a 3 mm del fabricante seleccionado en el apartado 5.1 sería posible realizar todas las operaciones requeridas con los parámetros de corte que se muestran en el apartado 5.5 de la presente memoria.

Cabe destacar que a pesar de que no se tiene plena certeza, debido a que las operaciones a realizar son de pequeño espesor y únicamente se tratan de un recorte de la silueta, se puede garantizar que las prestaciones mostradas son más que suficientes para el objetivo buscado.

8.2.8. Resultados del cálculo de esfuerzos

En el presente apartado se exponen los resultados que se observan en detalle en el anexo “Anexo IV – Cálculo de esfuerzos”. En dicho documento, se presentan los datos

obtenidos tras la aplicación del método de elementos finitos (en adelante: MEF) respecto a la capacidad de la estructura base para soportar la parte del diseño en la que se fijan los husillos y que se desplaza a través del eje x. Es decir, la capacidad del diseño de soportarse a sí mismo. Además, mediante la aplicación del MEF, se mostrarán las consecuencias de la aplicación de las fuerzas de corte sobre las superficies de armarios eléctricos de distintos materiales.

8.2.8.1. Análisis de la resistencia de la estructura

En la siguiente imagen (fig. 8.25), se muestra la simplificación realizada en la estructura base para realizar el análisis de la resistencia de la misma.

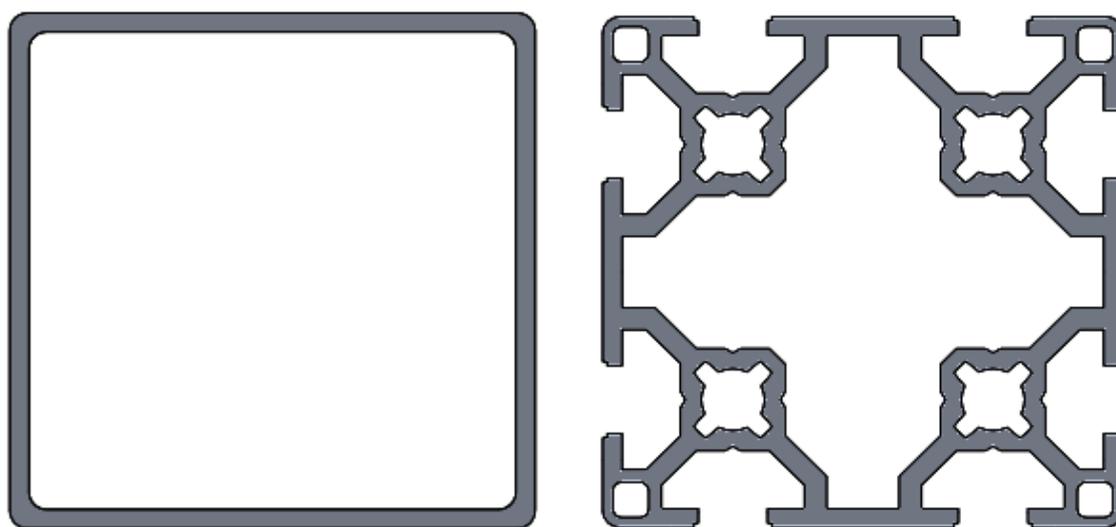


Figura 8.25- Simplificación de la estructura de los perfiles.

En la imagen anterior (fig. 8.25), se observa que a pesar de haber analizado una estructura simplificada sin todo el nervado que aumenta su rigidez (y como se observa en detalle en el anexo), se ha obtenido un desplazamiento máximo de 0,0074 mm en los nodos de la estructura. Cabe destacar que el factor de seguridad obtenido para la estructura base es de 6,5. Por tanto, se puede concluir que puede soportar perfectamente las sollicitaciones a las que está sometida.

8.2.8.2. Análisis de los esfuerzos de corte

En la siguiente tabla (tabla 8.1), se observan los resultados sobre las superficies de los distintos materiales tras la aplicación de los esfuerzos de corte y el posterior análisis.

Material	Ft (N)	Fa (N)	μ_{\max} (mm)	F _{seg}
Acero inoxidable	136	635	0,0009	9
Acero	288	470	0,0009	10
Aluminio	40	201	0,00095	15
Plástico	80	112	0,00045	4

Tabla 8.1- Análisis de los esfuerzos de corte.

En la tabla anterior (tabla 8.1), se observa cómo los desplazamientos resultantes para los distintos materiales (con la aplicación de los respectivos esfuerzos de corte) no pondrán en ningún momento en compromiso a la estructura. Otro argumento a favor de esta conclusión, son los distintos valores obtenidos para el factor de seguridad.

8.3. Justificación del diseño realizado

En el presente apartado se justificará el diseño propuesto respecto a las especificaciones técnicas que se exponen en el apartado 1.3.

- Respecto al siguiente punto: “*El dispositivo debe permitir operar sobre armarios eléctricos de dimensiones variables y máximas de 800 mm x 600 mm x 600 mm. Sin embargo, se debe permitir que las dimensiones de trabajo sean ampliables (aunque requiera la sustitución de partes del sistema)*”, el diseño propuesto cumple el requerimiento ya que sus dimensiones le permiten operar fijado en el lado de 600 mm. Cabe destacar que la mayor parte de las operaciones a realizar se encuentran en una zona concreta. Por tanto, con un solo amarre y tras establecer el 0 para indicar en qué posición se encuentra el cabezal, se podrían llevar a cabo todas las operaciones de corte sobre el armario eléctrico. Además, las dimensiones son fácilmente ampliables empleando perfiles estructurales de mayor tamaño y guías lineales. La programación y el control son plenamente utilizables sin cambios.



- Respecto al siguiente punto: *“El dispositivo debe permitir mecanizar armarios eléctricos de los materiales más comúnmente utilizados como acero, aluminio y plástico de diversos espesores.”*, en anteriores capítulos de presente documento se han aportado parámetros de corte que justifican la selección del husillo y su utilización en el diseño propuesto.
- Respecto al siguiente punto: *“El dispositivo debe ser portátil, es decir, debe ser susceptible de desplazarse para realizar las operaciones de mecanizado en las caras del armario eléctrico. Para ello debe colocarse y fijarse en las superficies a mecanizar.”*, como se puede observar en las imágenes del diseño propuesto mostradas a lo largo del presente capítulo, éste se caracteriza por ser principalmente portátil. Además, su peso contenido de entre 18 y 20 kg (dependiendo de la utilización de uno o dos husillos), permite que por normativa sea movido por cualquier usuario.
- Respecto al siguiente punto: *“El sistema debe lograr un mecanizado asegurando una precisión de aproximadamente 0,5 mm. No se requiere gran precisión en las operaciones realizadas.”*, como se puede observar en el capítulo de selección de las herramientas, la precisión que aseguran es notablemente más alta que la requerida. Además, los valores de operación seleccionados corresponden a parámetros para la obtención de un acabado medio.
- Respecto al siguiente punto: *“El dispositivo debe incluir un software gráfico que permita realizar las operaciones de mecanizado que se incluyan en un CAD.”*, en el siguiente capítulo de la presente memoria se explicará en detalle el proceso para traducir un plano CAD con las operaciones a realizar en el armario eléctrico, en una serie de órdenes que el control basado en Arduino permita interpretar para realizar los mecanizados.
- Respecto al último punto: *“Sería deseable que el diseño permita realizar todas las operaciones en el armario eléctrico sin tener que parar para realizar un cambio de herramienta. Es decir, el dispositivo de corte debe ser versátil.”*, como se observa a lo largo del presente capítulo el diseño inicial empleando dos husillos permite realizar todas las operaciones sin realizar un cambio de herramienta. Como se ha comentado anteriormente, tras realizar una serie de pruebas de campo



se verificará si se puede realizar todas las operaciones necesarias empleando un solo husillo. De una forma u otra, se asegurará que no será necesario realizar un cambio de herramienta.

9. PROCESAMIENTO DE PLANOS

En el presente capítulo, se explicará en detalle cómo se procesarán los datos sobre las operaciones a realizar presentes en un plano y como se traducirán en operaciones (o comandos) a ejecutar por parte del sistema de mecanizado portátil para armarios eléctricos.

En este punto se hace necesario realizar una distinción entre el punto de partida. Se tienen dos opciones:

- Un plano con las operaciones ya proyectadas en un formato “.*dxf*”. Hoy en día resulta habitual realizar los planos empleando software como “*SolidWorks*”, “*SolidEdge*”, “*AutoCAD*”, etc. Estas plataformas permiten explotar los planos en dicho formato.
- Operaciones presentes en un plano en papel (debido a que es un plano antiguo o no se dispone del mismo en formato digital “.*dxf*”) o la necesidad de realizar una serie de operaciones sobre una superficie del armario eléctrico. Sin embargo, se quiere prescindir del tiempo que implica realizar un plano pudiendo utilizar una plataforma que traduzca en comandos (o trayectorias) para el dispositivo de mecanizado a medida que se van introduciendo operaciones en el software empleado.

A partir de las opciones mostradas anteriormente, se realizará una división del procedimiento a seguir en función de si se dispone de los planos en formato digital o no

9.1. Plano en formato digital

En el presente apartado se describirán los pasos necesarios para explotar un plano en formato .*dxf* a una serie de comandos, o como se ha comentado anteriormente, “Código G” que pueda ser interpretado por el Arduino. En el diagrama de flujo de la siguiente imagen (fig. 9.1), se observa los distintos pasos necesarios para realizar las operaciones del plano que se muestra en la imagen (fig. 9.2), con el sistema de mecanizado portátil para armarios eléctricos objetivo del presente proyecto.

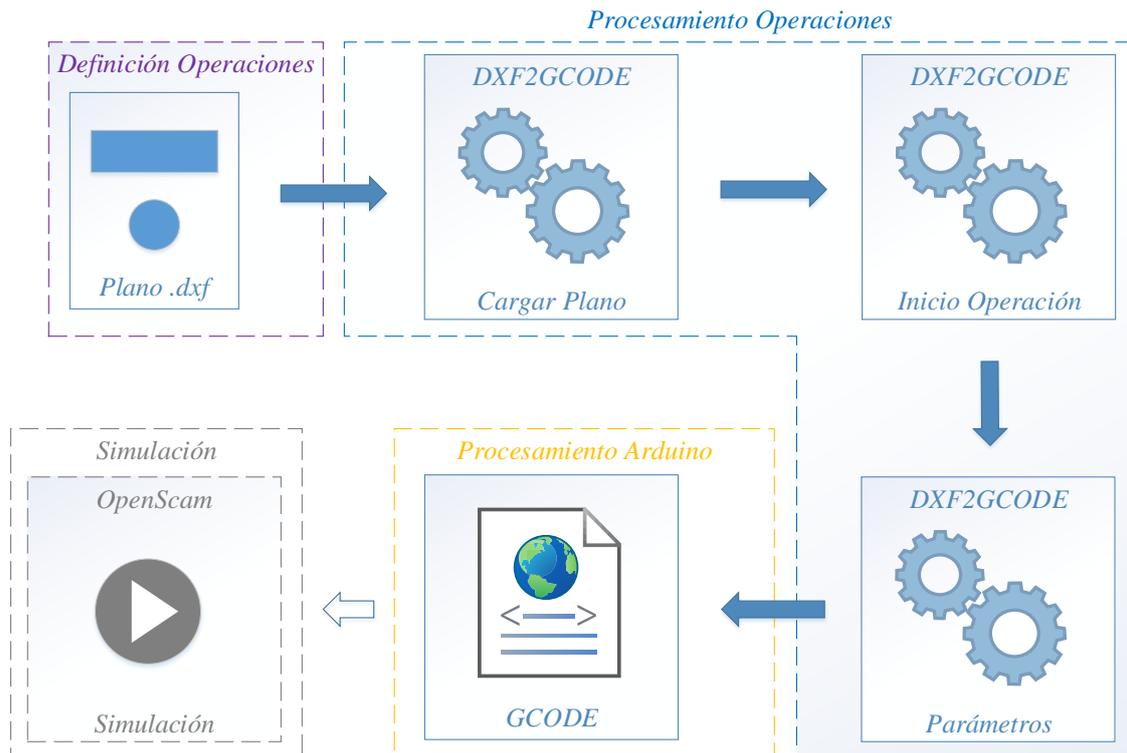


Figura 9.1- Procesamiento de plano en formato digital.

En el diagrama de la imagen anterior (fig. 9.1), se observa el primer paso del proceso consistente en la obtención de un plano en formato .dxf. Dicho plano se puede obtener a partir del software AutoCAD, de donde se ha sacado la captura que se observa en la imagen (fig. 9.2).

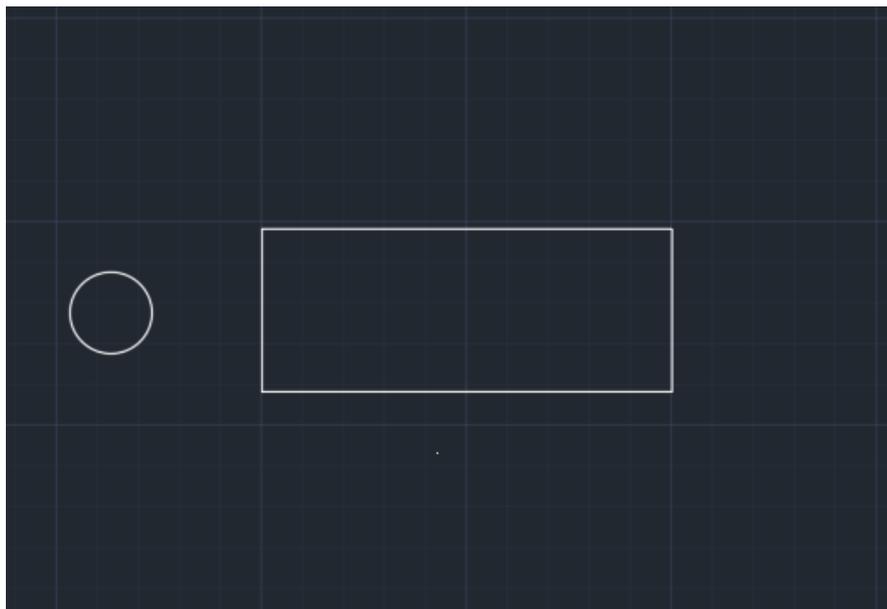


Figura 9.2- Plano en formato digital.

A continuación, se debe cargar el plano en el software “DXF2GCODE”, encargado del procesamiento de las operaciones a realizar. Tras establecer el punto de inicio de la operación y configurar los parámetros del proceso (por ejemplo: z de seguridad para el desplazamiento, z de movimiento lento, z de inicio de operación, profundidad por pasada, profundidad total, velocidades, etc), se obtendrá un fichero procesable por el Arduino. Se debe tener en cuenta que el programa de Arduino será especialmente diseñado y programado para adaptarse al código generado por el software “DXF2GCODE”. En la siguiente imagen (fig. 9.3), se observan los parámetros (por defecto) que se han configurado en el software anteriormente mencionado y también las trayectorias a seguir por el husillo.

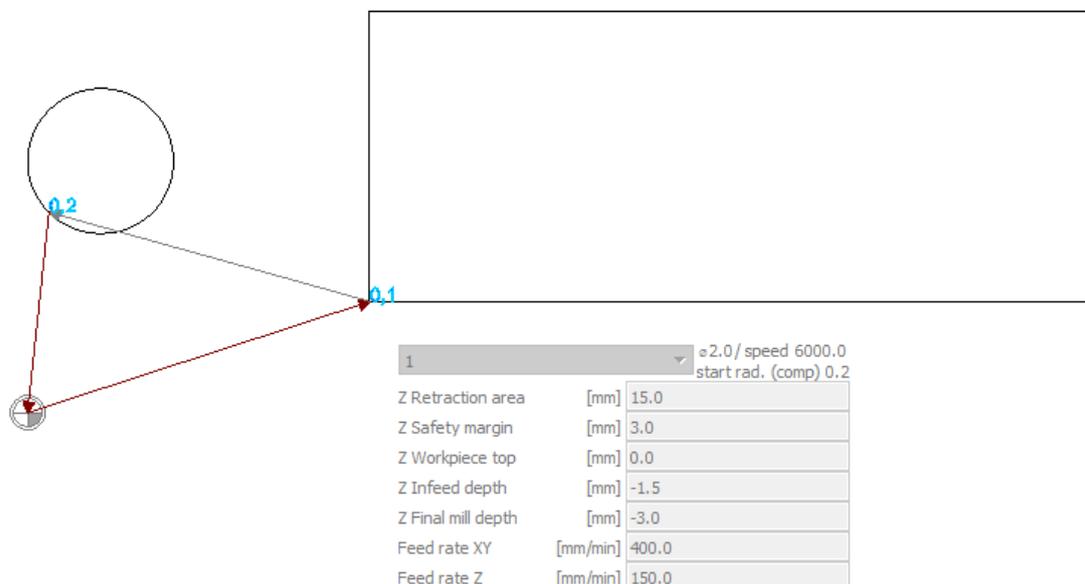


Figura 9.3- Trayectoria y parámetros de la operación.

En el anexo “Anexo V – Código G”, se puede observar en detalle el resultado obtenido tras el procesamiento del plano por parte del software detallado anteriormente.

Como se puede observar en el diagrama de flujo de la imagen anterior (fig. 9.1), el software “OpenScam” permite realizar una simulación de la operación cuyo código se ha obtenido en el software “DXF2GCODE”. En la siguiente imagen (fig. 9.4), se muestra el inicio de la operación cuando la herramienta se desplaza hacia la posición “Q1” (fig. 9.3) para realizar el fresado del borde de la caja.

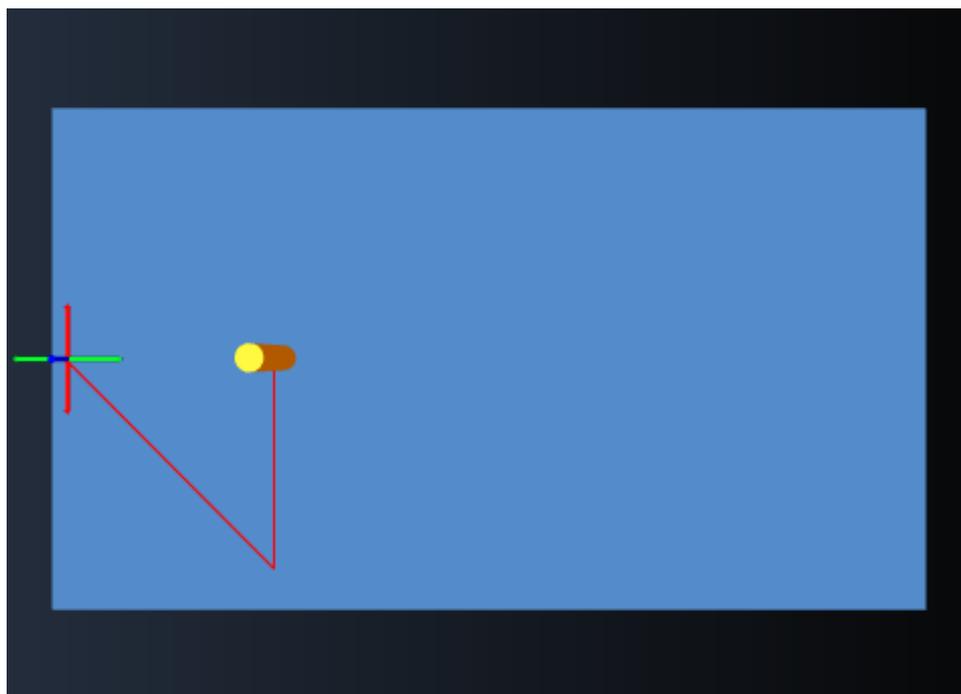


Figura 9.4- Inicio de la operación en el software “OpenScam”.

Una vez simulado el código, será necesario introducirlo en la placa Arduino. Para ello, se empleará un software conocido como “GBRL”. Este programa controlador es ampliamente utilizado para el manejo de máquinas CNC caseras.

9.2. Sin plano en formato digital

En el presente apartado se describirán los pasos necesarios para obtener la lista de comandos que el Arduino pueda interpretar con el objetivo de realizar las operaciones de mecanizado indicadas en un plano antiguo (no se dispone de dicho plano en formato digital). Otra posibilidad es que el usuario desee utilizar un software que le guíe en la definición del modelo y de las operaciones a realizar. Además, el software utilizado permitirá reciclar operaciones o modelos ya utilizados para adaptarlos a las nuevas exigencias o para realizar pequeñas modificaciones.

El software “MasterCam” será el empleado en este caso. Su uso está muy extendido en aplicaciones de mecanizado por control numérico para fresadoras y tornos. Además de la posibilidad de modelar la superficie del armario eléctrico con cada una de las operaciones a realizar, es posible importar sobre la superficie planos como el utilizado en el anterior apartado. El usuario dispone de una base de datos con multitud de herramientas y es posible simular el comportamiento del husillo y la herramienta en busca de errores antes de obtener

el código a ejecutar por parte del Arduino. En el diagrama de flujo de la siguiente imagen (fig. 9.5), se observa en detalle los distintos pasos necesarios a realizar.

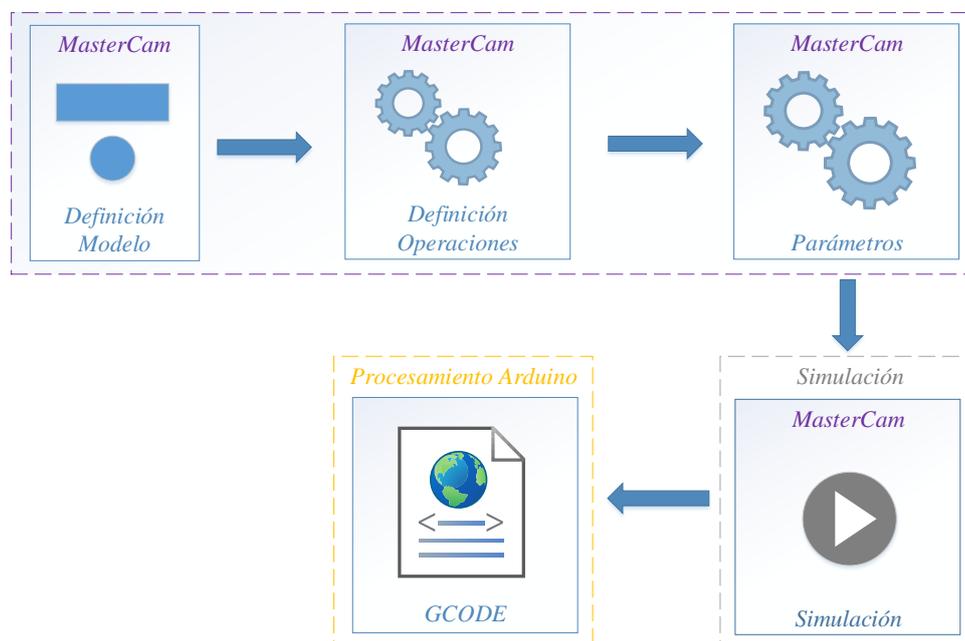


Figura 9.5- Procesamiento sin plano en formato digital.

En el diagrama de la imagen anterior (fig. 9.5), se observa que los primeros pasos consisten en la definición del modelo (en este caso una superficie del armario eléctrico) con las operaciones a realizar sobre éste.

En la siguiente imagen (fig. 9.6), se observa una de las caras o superficies del armario eléctrico en el software “MasterCam” con las operaciones (ejemplo) a realizar y la trayectoria que seguirá el husillo durante la simulación.

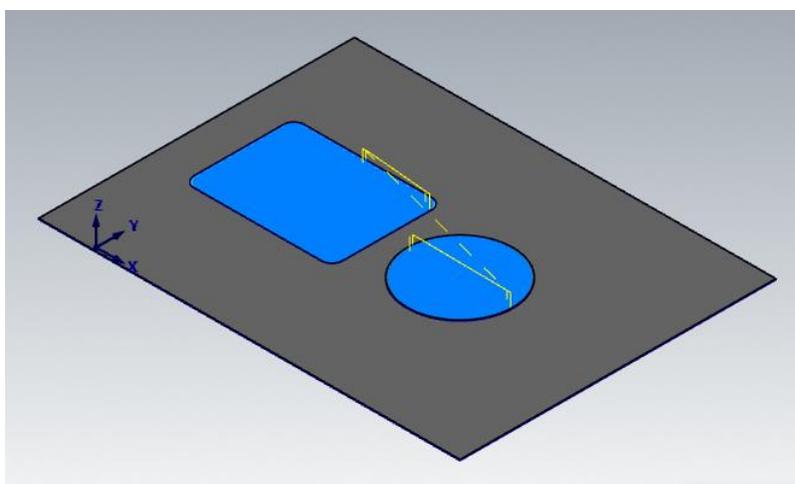


Figura 9.6- Modelo y operaciones a realizar en el software MasterCam.



Una vez definido el modelo y las operaciones a realizar como se muestra en la imagen anterior (fig. 9.6), el siguiente paso consiste en la definición de los parámetros de la operación: herramienta a utilizar, velocidad de corte, revoluciones del husillo, velocidad de aproximación y retracción, trayectorias, etc. En este caso y a diferencia del apartado anterior, MasterCam permite la simulación de las operaciones sin emplear un software adicional. Una vez comprobado el correcto funcionamiento, la opción de post-procesado presente en el software será la utilizada para la obtención de los comandos en “Código G”.

En el anexo “Anexo V – Código G”, se puede observar en detalle el resultado obtenido tras el procesamiento siguiendo los pasos detallados anteriormente.

Una vez obtenido el código, será necesario introducirlo en la placa Arduino. Para ello, se empleará un software conocido como “GBRL”. Como se ha comentado anteriormente, este programa controlador es ampliamente utilizado para el manejo de máquinas CNC caseras.



10. PLIEGO DE CONDICIONES

En el anexo: “Anexo VI – Pliego de condiciones”, se pueden observar en detalle las condiciones de uso y funcionamiento del prototipo diseñado y desarrollado a lo largo de la presente memoria.



11.PRESUPUESTO

En el anexo: “Anexo VII – Presupuesto”, se pueden observar en detalle los costes materiales, de fabricación y de ingeniería del presente proyecto. A continuación, se resumen los resultados obtenidos en dicho documento:

- Coste del proyecto: **16.432 € (IVA incluido).**
- Coste de materiales: 3.809 € (IVA incluido).
- Coste de mano de obra y fabricación: 2.400 € (IVA incluido).
- Coste de Ingeniería: 10.222 € (IVA incluido).



12.PLANOS

En el anexo: “Anexo VIII – Planos”, se pueden observar en detalle los planos para la fabricación del sistema de mecanizado de armarios eléctricos diseñado y desarrollado a lo largo del presente proyecto.



13.REALIZACIÓN PRÁCTICA

En el anexo: “Anexo IX – Memoria prácticas”, se aporta una descripción detallada de las actividades desarrolladas durante la realización de las prácticas. Se aportarán detalles relacionados con la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la realización del Máster en el desarrollo de las mismas.



14.BIBLIOGRAFÍA

Normas:

- (1) AENOR: Norma IEC 61439-1: 2001.
- (2) AENOR: Norma IEC 61439-2: 2012.
- (3) VDI 2225-4:1997 - Design Engineering Methodics - Engineering Design At Optimum Cost – Dimensioning.

Patentes:

- (1) <http://www.google.com.na/patents/US1675374>
- (2) <https://www.google.com.na/patents/US724059>
- (3) <https://www.google.es/patents/US3688739>

Sitios Web:

- (1) <http://www.eldon.com/es-ES/>. Fecha de visita a la web: 20 de abril de 2017.
- (2) <http://ide.es/esp>. Fecha de visita a la web: 20 de abril de 2017.
- (3) <https://schroff.pentair.com/>. Fecha de visita a la web: 20 de abril de 2017.
- (4) <http://www.hager.es/>. Fecha de visita a la web: 20 de abril de 2017.
- (5) <http://uk.tricel.eu/meter-boxes/>. Fecha de visita a la web: 20 de abril de 2017.
- (6) <http://www.sandvik.coromant.com/es-es/pages/default.aspx>. Fecha de visita a la web: 25 de abril de 2017.
- (7) <http://www.virma.com/>. Fecha de visita a la web: 25 de abril de 2017.
- (8) <https://www.wnt.com/es/>. Fecha de visita a la web: 25 de abril de 2017.
- (9) <http://www.kress-elektrik.de>. Fecha de visita a la web: 7 de mayo de 2017.
- (10) <http://www.makita.es/>. Fecha de visita a la web: 7 de mayo de 2017.
- (11) <http://www.dewalt.es/>. Fecha de visita a la web: 7 de mayo de 2017.



- (12) <https://www.bosch-professional.com/es/es/>. Fecha de visita a la web: 7 de mayo de 2017.
- (13) Icroato comercializa a través de: <https://es.aliexpress.com/>. Fecha de visita a la web: 10 de junio de 2017.
- (14) WLXY comercializa a través de: www.ebay.com. Fecha de visita a la web: 10 de junio de 2017.
- (15) <http://www.diyoware.com/>. Fecha de visita a la web: 3 de mayo de 2017.
- (16) http://www.atom3dp.com/en/atom25_en_home/. Fecha de visita a la web: 3 de mayo de 2017.
- (17) <http://www.climaxportable.com/>. Fecha de visita a la web: 3 de mayo de 2017.
- (18) <http://huawei-sh.en.made-in-china.com/>. Fecha de visita a la web: 4 de mayo de 2017.
- (19) <http://www.mywindoro.com/>. Fecha de visita a la web: 4 de mayo de 2017.
- (20) <http://www.ezrenda.com/>. Fecha de visita a la web: 4 de mayo de 2017.
- (21) https://www.circuitspecialists.com/nema_23_stepper_motors. Fecha de visita a la web: 15 de noviembre de 2017.
- (22) <http://www.guardiancouplings.com/products/motion-control-couplings/multi-beam-couplings>. Fecha de visita a la web: 15 de julio de 2017.
- (23) <http://www.skf.com/es/products/bearings-units-housings/ball-bearings/self-aligning-ball-bearings/self-aligning-ball-bearings/index.html?designation=1201%20ETN9>. Fecha de visita a la web: 15 de Julio de 2017.
- (24) <http://www.machinet.com.ar/soporte/>. Fecha de visita a la web: 15 de Julio de 2017.

Artículos:

- (1) <https://www.ikkaro.com/como-hacer-fresadora-cnc-casera/>. Fecha de visita a la web: 25 de noviembre de 2017.



(2) <https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>.

Fecha de visita a la web: 25 de noviembre de 2017.

(3) [http://escuelatecnica.roqueperez.net/wp-content/uploads/2015/07/Manual-](http://escuelatecnica.roqueperez.net/wp-content/uploads/2015/07/Manual-Fresadora-CNC-Final.pdf)

Fresadora-CNC-Final.pdf. Fecha de visita a la web: 15 de diciembre de 2017.

Libros:

(1) Manufactura, Ingeniería y Tecnología – S. Kalpakjian, S. R. Schmid.

Software:

(1) <https://www.autodesk.es/>

(2) <https://www.plm.automation.siemens.com/es/products/solid-edge/>

(3) <http://www.solidworks.es/>

(4) <http://www.ansys.com/>

(5) <https://sourceforge.net/projects/dxf2gcode/>

(6) <http://camotics.org/>

(7) <https://www.mastercam.com/en-us/>